

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

Magnetické částice v imisích z oblasti Moravskoslezských Beskyd

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor práce:
Vedoucí práce:

Bc. Pavel Kantor
prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

Ostrava 2017

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

Magnetic Particles from Air Pollution in Moravosilesian Beskydy Mts.

THESIS

Author:
Supervisor:

Bc. Pavel Kantor
prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Kantor**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství

Téma: **Magnetické částice v imisích z oblasti Moravskoslezských Beskyd**
Magnetic Particles from Air Pollution in Moravosilesian Beskydy Mts.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Zdroje znečištění
 - 2.1 Původ magnetických částic v imisích
 - 2.2 Magnetické částice v lesních půdách
3. Charakteristika oblasti
 - 3.1 Geologie a pedologie
 - 3.2 Klimatické podmínky a podnebí
4. Geochemická a morfologická charakteristika magnetických částic
 - 4.1 Magnetit vznikající při antropogenní činnosti
 - 4.2 Magnetit v podložních horninách
5. Experimentální část
 - 5.1 Odběr vzorků – metody chemické analýzy půd
 - 5.2 Odběr vzorků – analýzy celkové prašné depozice
 - 5.3 Separace magnetické frakce z půd
 - 5.4 Geochemie půd a magnetické frakce
6. Magnetická susceptibilita půd
7. Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- BLAHA, U., SAPKOTA B., APPEL, E., STANJEK, H., RÖSLER, W. Micro-scale grain-size analysis and magnetic properties of coal-fired power plant fly ash and its relevance for environmental magnetic pollution studies. *Atmospheric Environment* 42 (2008) 8359–8370
- CERVI, E. C., DA COSTA, A. C. S., & DE SOUZA Junior, I. G. Magnetic susceptibility and the spatial variability of heavy metals in soils developed on basalt. *Journal of Applied Geophysics*, 111, 2014, Pages: 377-383.
- LU, S., YU, X., CHEN Y. Magnetic properties, microstructure and mineralogical phases of technogenic magnetic particles (TMPs) in urban soils: Their source identification and environmental implications. *Science of the Total Environment*, 543, 2016, 239–247
- RACHWAL, M., MAGIERA, T., WAWER, M. Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere* xxx (2015) xxx–xxx
- MATYSEK, D., RACLAVSKA, H., RACLAVSKY, K. Correlation between magnetic susceptibility and heavy metal concentrations in forest soils of the eastern Czech Republic. *Journal of Environmental and*

Engineering Geophysics Volume: 13, 2008, Pages: 13-26

YANG, J., ZHAO, Y., ZYRYANOV, V., ZHANG, J., ZH, Ch. Physical–chemical characteristics and elements enrichment of magnetospheres from coal fly ashes. Fuel, 135, 2014, 15–26

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

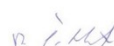
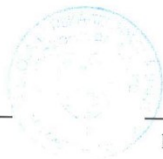
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu



prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení:

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28. 4. 2017


Bc. Pavel Kantor

ANOTACE

Předložená práce se zabývá identifikací původu magnetických částic v imisích. Kontaminace pevným spadem, který je z velké části antropogenního původu a obsahuje množství silně feromagnetických částic, je významným ekologickým problémem. Pro identifikaci zdrojů znečištění byly ve vybrané části Moravskoslezských Beskyd odebrány a zkoumány vzorky lesních půd a byla provedena chemická analýza sněhu z oblasti Třinecka a analýza odprašků z určitých provozů Třineckých železáren. U půd byly zjištěny hodnoty magnetické susceptibility, které byly poté porovnány se všemi dříve naměřenými hodnotami v Moravskoslezských Beskydech. Byla provedena magnetická separace půdních vzorků, po které byly zjišťovány koncentrace jednotlivých prvků. Následně byla provedena mikroanalýza magnetické části, pomocí které byl zjišťován charakter magnetických částic.

Klíčová slova: imisní zátěž, lesní půdy, magnetit, magnetická susceptibilita, magnetické částice, Moravskoslezské Beskydy

SUMMARY

This thesis deals with the identification of the origin of magnetic particles in the immissions. Contamination of soil by a solid fall, which is largely anthropogenic in origin and contains a number of strongly ferromagnetic particles, is a significant environmental problem. Samples of forest soils were taken for the identification of sources of pollution and examined in a selected part of the Moravian-Silesian Beskydy. Chemical analysis of the snow from the Třinec region and analysis of dusts from certain Třinecké železářny plants were carried out. Then all the samples taken in the area were measured by using a magnetic susceptibility. These values were compared with all the measured values in Beskydy Mountains. Magnetic separation of soil samples was performed, after which the concentrations of individual elements were determined. Subsequently a microanalysis of the magnetic parts were carried out and magnetic particles character was determined.

Key words: immision loads, forest soils, magnetite, magnetic susceptibility, magnetic particles, Beskydy Mountains

Poděkování:

Na tomto místě bych srdečně rád poděkoval paní prof. Ing. Heleně Raclavské, CSc., za svědomité vedení mé diplomové práce a za poskytnutí mnoha cenných rad. Také bych chtěl moc poděkovat Ing. Sylvii Bielešové a Dr. Ing. Daliboru Matýskovi za pomoc při výzkumu v laboratoři. Dále bych rád poděkoval svým rodičům a své přítelkyni kteří mi studium na vysoké škole umožnili a plně mě v něm podporovali.

OBSAH

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE.....	1
2	ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ MAGNETICKÝMI ČÁSTICEMI	2
2.1	Původ magnetických částic v imisích	3
2.1.1	Průmyslové a energetické zdroje magnetických částic	5
2.1.2	Doprava	6
2.1.3	Lokální topeniště	6
2.2	Magnetické částice v lesních půdách	7
3	CHARAKTERISTIKA OBLASTI.....	9
3.1	Geologie oblasti.....	11
3.2	Půdní typy oblasti	13
3.3	Klimatické podmínky a podnebí.....	15
4	GEOCHEMICKÁ A MORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA MAGNETICKÝCH ČÁSTIC	18
4.1	Magnetit vznikající při antropogenní činnosti.....	18
4.2	Magnetit v podložních horninách	19
5	ODBĚR A ANALÝZA VZORKŮ.....	22
5.1	Odběr vzorků – metody chemické analýzy půd	24
5.1.1	RTG – fluorescenční analýza.....	24
5.2	Odběr vzorků – Chemická analýza sněhových srážek.....	29
5.3	Analýzy celkové prašné depozice	30
5.3.1	Mineralogická analýza odprašků	30
5.3.2	Chemická analýza odprašků	32
5.3.3	Analýza chemického složení částic (SEM+EDAX)	32
5.4	Separace magnetické frakce z půd.....	40
5.5	Separace magnetické frakce z popela	41
5.6	Geochemie půd a magnetická frakce	43
5.6.1	Mikroanalýza – SEM+EDAX.....	43
5.7	Korelační závislosti.....	48
6	MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA PŮD	51
6.1	Výsledky měření magnetické susceptibility	52
6.2	Závislost mezi magnetickou susceptibilitou a prvky	53
7	VYHODNOCENÍ.....	55
8	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
	SEZNAM ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	71

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Oblast Moravskoslezských Beskyd je silně zatížená zejména těžkým průmyslem. Jedná se o lokalitu s vysokým vlivem velkých průmyslových zdrojů. V blízkosti se nachází Třinecké železářny, které vlastní i několik dceřiných podniků, se kterými se podílejí na kvalitě ovzduší ve zkoumané lokalitě. K vlivu na kvalitu ovzduší v této oblasti přispívají i lokální topeniště a doprava. Lokální topeniště mohou být v některých oblastech významným producentem emisí a hlavním zdrojem znečištění ovzduší. Městem vede také mezinárodní silnice I. třídy E 75, která je intenzivně využívána, protože tvoří důležitou spojkou se sousední Slovenskou republikou, a proto má také nemalý vliv na kvalitu ovzduší v okolí Třinecka. Vliv na zkoumanou lokalitu, ale nemají pouze zdroje z Česka. Polské zdroje produkují více emisí, které jsou ve velkých koncentracích přenášeny do Česka, převážně při zhoršených rozptylových podmínkách (KANTOR, 2015).

Kontaminace půd pevným spadem, který je z velké části antropogenního původu a obsahuje množství silně feromagnetických částic je významným ekologickým problémem. Nejvýznamnějším zdrojem antropogenních částic jsou úletové popílký, které vznikají při spalování fosilních paliv. Mezi hlavní zdroje těchto emisí patří elektrárny, hutě, koksovny, teplárny a silniční doprava.

Hlavním cílem této diplomové práce je zjištění původu, druhu a obsahu magnetických částic v imisích z oblasti Moravskoslezských Beskyd, přesněji v oblasti Třinecka. Pro dosažení cíle práce byl zvolen následující postup.

- Liniový odběr vzorků v SV, JV a SZ směru s krokem 100 m n. m. v oblasti Javorového vrchu a Ostrého
- Chemická analýza humusového horizontu lesních půd a stanovení magnetické susceptibility
- Separace magnetické části z odebraných půdních vzorků a popela
- Chemická analýza odprašků z různých druhů provozů Třineckých železáren
- Chemická analýza srážek z vybrané oblasti MS Beskyd

2 ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ MAGNETICKÝMI ČÁSTICEMI

Ovzduší, půdy a vody znečištěné popílkem z uhelných elektráren, to vše může být významným ekologickým problémem. Z celkového objemu energetického odpadu ze spalování fosilních paliv tvoří cca 75–85 %. Popílek je heterogenní materiál tvořený částicemi s rozdílnými fyzikálními, chemickými, mineralogickými, morfologickými a technologickými vlastnostmi, které jsou determinované a ovlivňované typem spalovacího zařízení a kvalitou spalovaného uhlí. Popílký mohou být škodlivé pro lidské zdraví díky jejich malé velikosti částic nebo tím, že mohou nést znečišťující látky jako jsou toxické kovy (TK) nebo polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) (BLAHA et al., 2008; FEČKO et al., 2003).

Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem znečištění jsou spalovací procesy, hlavně v automobilových motorech a elektrárnách a další vysokoteplotní procesy, jako je tavení rud a kovů nebo svařování. Spalovací procesy reprezentují více než 40 % koncentrace částic PM₁₀ (www.irz.cz; KLIMONT et al., 2016).

Moderní filtrační technologie, které zabráňují vstupu těchto znečišťujících látek do životního prostředí a chrání jej před vážnými riziky byly v rámci největší ekologizace Třineckých železáren spuštěny do plného provozu na konci roku 2015. Tato zařízení se postarají o zachycení prachu při výrobě železa a oceli a pomohou snížit celkové emise tuhých znečišťujících látek (TZL) v ovzduší asi o třetinu (www.allforpower.cz).

Zejména znečištění půdy je způsobeno atmosférickým transportem částic a jejich depozicí. Půdy jsou tedy jakousi jímkou nebo akumulátorem pro jakýkoliv typ atmosféricky uložených znečišťujících látek (BLAHA et al., 2008).

PM částice v atmosféře jsou velkým problémem pro životní prostředí, zvláště pak jejich důsledky pro zdraví člověka. Poléťavé PM částice mohou být definovány svými aerodynamickými vlastnostmi. Částice PM₁₀ (frakce PM s aerodynamickým průměrem <10 μm), jsou dostatečně malé, a proto pronikají do hrudní oblasti, kdežto částice PM_{2,5} (<2,5 μm) mohou dále pronikat do plic a plicních sklípků. Na tyto částice jsou vázány rizikové prvky, organické mikropolutanty a mikroorganismy. Problém vysokých koncentrací PM vedl k zavedení legislativních opatření, jejichž cílem je snížit antropogenní zátěž z různých emisních zdrojů. Podle zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni

znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb. byly pro PM_{10} stanoven 24 hodinový ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ max. 35x za rok) a roční imisní limit ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Pro $PM_{2,5}$ byl stanoven roční imisní limit ($25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (REVUELTA et al., 2014; SHI et al., 2014; <http://portal.chmi.cz>).

Magnetické vlastnosti PM jsou stále více používány k posuzování úrovně znečištění ovzduší a identifikaci zdroje znečištění. Magnetické částice v městském prostředí pocházejí zejména ze spalování paliv, průmyslu, emise vozidel, anebo z obrušování, či koroze antropogenních zdrojů, a proto jsou úzce spojeny se sledováním chemických škodlivin jako jsou např. NO_x , CO , SO_2 , Cu , Zn . (REVUELTA et al., 2014; SHI et al., 2014).

2.1 Původ magnetických částic v imisích

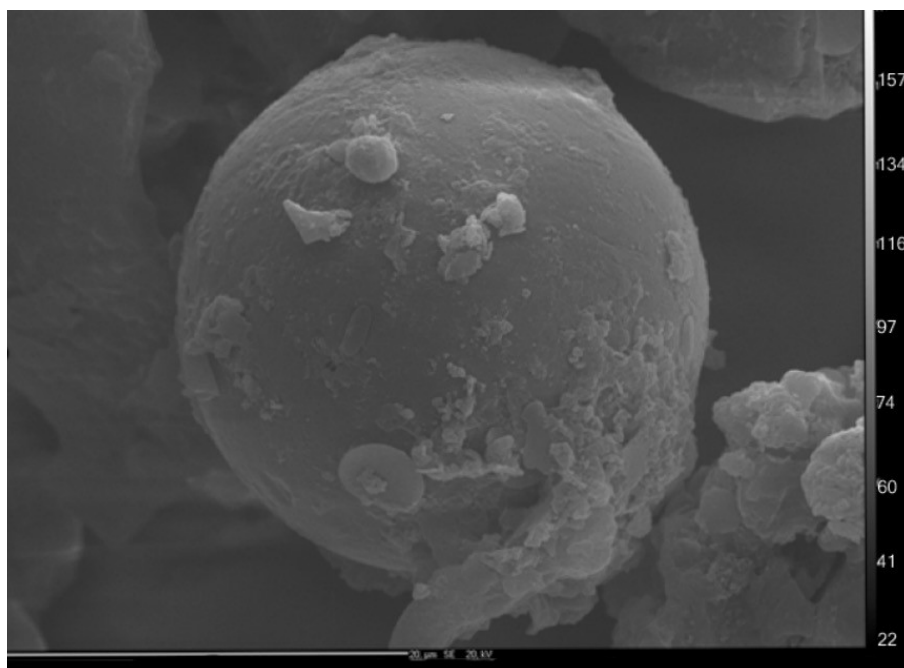
Imise jsou následkem emisí, které se dostaly do styku s životním prostředím. Imise se mohou kumulovat v půdě, vodě nebo organismech. Za imise můžeme označit například těžké kovy nebo jiné znečišťující látky, které se ukládají např. v půdách nebo rostlinách podél silničních komunikací a v oblastech zatížených těžkým průmyslem anebo v potravním řetězci (www.cistenebe.cz). Významným zdrojem imisí mohou být průmyslové a energetické zdroje, doprava a lokální topeniště.

Atmosférická depozice částic je významnou zátěží pro životní prostředí. Naprostá většina spadu je průmyslového původu a obsahuje nezanedbatelné procento ferimagnetických částic. Tyto částice se kumulují především v půdách a sedimentech. K určení průmyslového znečištění je však nutné od sebe odlišit zdroje přírodního (pedogenní procesy, vliv geologického podloží) a antropogenního původu. Toho lze docílit analýzou magnetických vlastností kontaminovaných vzorků ve vyšetřovaných regionech (KAPIČKA, PETROVSKÝ, 2004).

Kontaminace půdy těžkými kovy má velký význam pro veřejné zdraví a ekologické zájmy v městském prostředí. Magnetická měření mohou být využita jako alternativní techniky k určení rozsahu a stupně znečištění toxickými kovy a k identifikaci různých zdrojů kontaminace v městských půdách, pouličním prachu a atmosférických částicích. V mnoha předchozích studiích byla zpozorována významná korelace mezi magnetickými vlastnostmi a koncentracemi těžkých kovů ve vrchní vrstvě půdy městských a průmyslových oblastí (LU et al., 2016).

Na rozdíl od magnetických částic přírodního (půdotvorného) původu, magnetické částice v magnetických frakcích z uhelných elektráren vykazují specifickou morfologii a odlišné magnetické vlastnosti. Magnetické částice popílků se nejčastěji vyskytují ve formě kuliček s relativně proměnlivou velikostí zrn, které se pohybují od několika až po stovky mikronů. Kulovité magnetické částice jsou tvořeny čistým nebo nestechiometrickým magnetitem (LU et al., 2009).

TMP pocházející z vysokoteplotních spalovacích procesů mají charakteristický kulovitý tvar (obrázek 1), kdežto TMP, které pocházejí z emisí vozidel a tavení železa vytvářejí nepravidelné nesférické agregáty (LU et al., 2016). Technogenní magnetické částice (TMP) se výrazně liší od magnetických částic vznikajících přirozenými procesy: morfologie, stechiometrické poměry a strukturou, které mohou ovlivňovat magnetické vlastnosti (SZUSZKIEWICZ et al., 2015).



Obrázek 1: SEM typická magnetická částice antropogenního původu vyseparovaná z vrchní půdní vrstvy (průměr částice 20 μm) (Kapička et al., 2004)

Ve svrchní vrstvě městských půd se akumulují TMP pocházející z antropogenních emisí. Přítomnost TMP v městských půdách a polétavém prachu (Total Suspended Particles TSP), a to i ve stopovém množství, může být snadno detekována magnetickým měřením (VENEVA et al., 2004).

Fe ionty ve fázích magnetitu nebo hematitu jsou často nahrazeny jinými kationty. Cr, Cu, Ni, Zn, As a Pb jsou známy tím, že vstupují struktury magnetitu a hematitu a nahrazují Fe^{2+} a Fe^{3+} ionty v krystalové mřížce. Přítomnost magnetických částic s obsahy těchto prvků v půdách a sedimentech může signalizovat znečištění atmosférickými částicemi pocházejícími z popílků (LU et al., 2009).

2.1.1 Průmyslové a energetické zdroje magnetických částic

Je známo, že spalování uhlí a biomasy, metalurgické procesy, recyklace pevného odpadu a podobné procesy mohou do okolního prostředí uvolnit velké množství prachových částic, které obsahují relativně velké množství magnetických fází železa. Ve svrchní vrstvě půd v průmyslových oblastech a v okolí průmyslových zdrojů dochází ke zvýšení podílu magnetických částic (LU et al., 2016).

Produkty spalování fosilních paliv mohou být bohaté na magnetickou frakci (magnetit), s odhadovaným obsahem magnetitu 50 – 10 000 mg/kg. V popílcích ze spalování fosilních paliv může obsah magnetitu dosáhnout až 16 % (VENEVA et al., 2004).

V koksárenství, podobně jako u jiných spalovacích a termických procesů využívajících uhlí se v prachových částicích identifikovaly magnetické minerály. (RACHWAL et al., 2015). Množství magnetických částic klesá se vzdáleností od zdroje emise (BOYOKO et al., 2004). Půdy obohacené o TMP a vykazují vyšší hodnoty magnetické susceptibility než půdy v "čistých" oblastech považované jako pozadí. Zvýšená koncentrace těžkých kovů, PAU a magnetické susceptibility se vyskytuje ve svrchní vrstvě půd (RACHWAL et al., 2015).

Magnetit, magnesioferit a maghemit jsou dominantními ferimagnetickými minerály ve většině popílků vznikajících při spalování černého uhlí. Podstatně větší množství hematitu nebo maghemitu bylo pozorováno v popílku ze spalování hnědého uhlí. Metalické železo a ferimagnetický pyrrhotin jsou charakteristické složky koksového prachu (MAGIERA et al., 2011).

Mineralogické složení popílků je dáno obsahem a druhem přirozených minerálů v uhlí a stupněm jejich tepelné proměny (FEČKO et al., 2003).

Morfologie a chemické složení magnetických částic závisí na podmínkách, spalovacích procesů (LU et al., 2009).

Železo je v popílcích vázáno hlavně na oxidické minerály, které vykazují vysoké hodnoty magnetické susceptibility (tabulka 1) a jsou slabě až silně magnetické. Kromě čistých Fe oxidů se v popílcích často vyskytují i oxidické sloučeniny Fe s titanem (ilmenit, ilmenorutil). Část Fe je rozptýlená ve formě kovové nebo tvoří součást amorfní fáze, Z technologického hlediska jsou významné minerály, které jsou majoritním nositelem Fe a jsou poměrně jednoduše získatelné magnetickou separací (FEČKO et al., 2003).

Tabulka 1: Magnetická susceptibilita Fe minerálů (Fečko et al., 2003)

Magnetická susceptibilita Fe minerálů				
minerál	magnetit	maghemit	hematit	ilmenit
$\chi \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$	20–200	1–30	0,07–0,28	1–7

2.1.2 Doprava

Doprava je považována za další významný zdroj magnetických částic v městských oblastech. Částice z emisí vozidel mají nepravidelné nekulovité agregáty magnetických minerálů, zejména magnetitu (ZHANG et al., 2012). Doprava způsobuje zvýšení obsahu magnetických částic v půdách podél komunikací s hustým provozem. Pro tyto antropogenní částice se používá termín „technogenní magnetické částice“ (TMP). Jsou významným zdrojem těžkých kovů v půdách (LU et al., 2016).

Za tzv. silniční kontaminace životního prostředí jsou do značné míry zodpovědné dva emisní-komponenty: vozidla a materiály použité pro konstrukci vozovky (asfalt a živice neboli bitumen, který je nejdůležitější). Velké množství pevných, plynných a tekutých nečistot (anorganické a organické chemikálie) jsou emitovány do životního prostředí, ale pouze pevné částice jsou odpovědné za zvýšení magnetické susceptibility v organickém horizontu půd. Tyto pevné částice zahrnují saze, kovové částice nebo popílky vzniklé oděrem (například brzdy, pneumatiky nebo asfalt), rzi nebo nátěrové částičky používané pro odstranění koroze. Produkty otěru z asfaltu a z brzdových systémů vozidel jsou dominujícím zdrojem magnetického znečištění. Silně znečištěná struska a filtrační prach (z uhlí a spalování odpadů) jsou částečně použity jako přísady pro výrobu asfaltu (HOFFMAN et al., 1999).

2.1.3 Lokální topeniště

Lokálním topeništěm můžeme označit zdroj znečišťování, jehož jmenovitý tepelný výkon je nižší než 0,3 MW. Tyto zdroje jsou hustě rozmístěny na relativně malé ploše

a nacházejí se především v rodinných domech, chalupách, menších školách, provozovnách nebo kancelářích, ve kterých jsou umístěna zařízení používaná ke spalování paliv (<http://lokalni-topeniste.msk.cz>).

Spalovací zdroje především v domácnostech způsobují velké znečištění ovzduší toxickými sloučeninami jako je oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), oxidy síry (SiO_x), prachovité částice, organické látky, toxické kovy apod. Vlivem provozu zdrojů malých výkonů spalujících tuhá paliva roste podíl znečištění ovzduší u suspendovaných částic PM₁₀ a PAU. Některá topeniště v rodinných domech jsou také zastaralá a někdy se jako palivo používá materiál, který patří do komunálního odpadu nebo na skládku odpadů (<http://lokalni-topeniste.msk.cz>).

2.2 Magnetické částice v lesních půdách

Železo je hlavní částí zemské kůry a vyskytuje se v horninách zemské kůry (6,2%). Železo je v hojné míře rozšířeno v podobě oxidů a uhličitánů. Mezi hlavní patří: hematit (Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄), limonit (2Fe₂O₃·3H₂O) a siderit (FeCO₃). Běžně se také vyskytuje v podobě pyritu (FeS₂) (FEČKO et al., 2003).

Vyvřelé horniny obsahují velké množství minerálních fází bohatých na železo, například, magnetit a titanomagnetit, a proto mají vysoké přirozené magnetické hodnoty (CERVI, 2014). Magnetit a maghemit ale můžeme najít rovněž v půdách jako přirozené minerály které pocházejí ze zvětrávacích procesů. Dalším zdrojem magnetického obohacení půd mohou být velmi jemné, super paramagnetické částice, které vznikají v důsledku půdotvorných procesů v půdě (SEMELOVÁ et al., 2009).

V závislosti na půdních podmínkách může v delším časovém horizontu také obecně docházet k poklesu koncentrace akumulovaných antropogenních ferimagnetik. Dlouhodobé laboratorní experimenty v široké škále půdních pH však ukázaly, že jejich makroskopické magnetické parametry jsou prakticky stabilní (KAPIČKA, PETROVSKÝ, 2004).

Magnetické vlastnosti půd jsou ovlivněny mineralogickým složením půd a petrografickým typem horniny v podloží. Koncentrace magnetických minerálů (většinou magnetit) v půdách může být zjednodušeně vyjádřena magnetickou susceptibilitou (MAGIERA et al., 2006). Pedogenními oxidačně-redukčními procesy mohou být slabě krystalické (amorfní) fáze Fe-oxidů v půdních horizontech transformovány na silně

magnetický magnetit/maghemit. Pedogenní feromagnetika jsou však převážně ve formě velmi jemných, superparamagnetických (SP) respektive jednodoménových (SD) zrn (KAPIČKA, PETROVSKÝ, 2004).

Nejvyšší koncentrace antropogenních feromagnetických částic se obvykle nachází v humusovém horizontu lesních půd (KAPIČKA et al., 2003; MAHER, TAYLOR, 1988). Dobře vyvinutý organický horizont lesní vrchní vrstvy půd hromadí větší množství prachových magnetických částic z depozice, než otevřené oblasti „louky a trvalé travní porosty“. Nejvyšší zvýšení susceptibility se nachází v horních 8 cm vertikální půdního profilu (MAGIERA et al., 2006).

3 CHARAKTERISTIKA OBLASTI

Město Třinec (obrázek 2) se nachází ve východní části Slezska a je významným průmyslovým místem v České republice, což se ale znatelně odráží na kvalitě a čistotě ovzduší v této oblasti. Největší vliv na kvalitu ovzduší v této oblasti mají průmyslové zdroje, a to přesněji Třinecké železářny a.s., které zde stojí od roku 1839 a patří k průmyslovým podnikům s nejdelší tradicí hutní výroby v České republice (www.acri.cz; www.trinecko.cz).

Původním výrobním sortimentem Třineckých železáren byla kamna, plotny na kuchyňské pece, lité nádoby, kanalizační litina, ploty, sloupy, schodiště, ploty, okenní rámy a odlitky pro strojírenství. V současné době jsou Třinecké železářny světově známým výrobcem dlouhých ocelových válcovaných výrobků a zauímají více než 1/3 rozlohy města Třinec. Součástí společností skupiny Třinecké železářny – Moravia Steel na území Třinecka je i řada dceřiných společností jako jsou například: Energetika Třinec, a.s., Refrasil, s. r. o., Slévárny Třinec, a. s., Strojírny a stavby Třinec, a.s. a další (www.acri.cz; www.trinecko.cz; www.trz.cz).



Obrázek 2: Mapa oblasti Třinecka (www.google.cz/maps)

Ke konci roku 2015 bylo v Třineckých železárnách do plného provozu uvedeno několik zařízení, které se starají o zachycení prachu při výrobě železa a oceli. Snížení prašnosti by mělo zlepšit kvalitu ovzduší v okolí hutě. Celkové emise tuhých znečišťujících látek v ovzduší by měly být sníženy asi o třetinu, což se taky potvrdilo, když v roce 2015 při výrobě asi 2,5 milionu tun oceli klesl objem prachu na 310 tun za rok a stále snižuje díky dlouhodobému programu investic do modernizace zařízení a odprašení. Při přibližně stejném objemu výroby bylo do ovzduší například v roce 2004 vypuštěno 5,5 tisíce tun prachu a v roce 1990 téměř 10 000 tun (www.allforpower.cz; www.trz.cz; <http://udrzbapodniku.cz>).

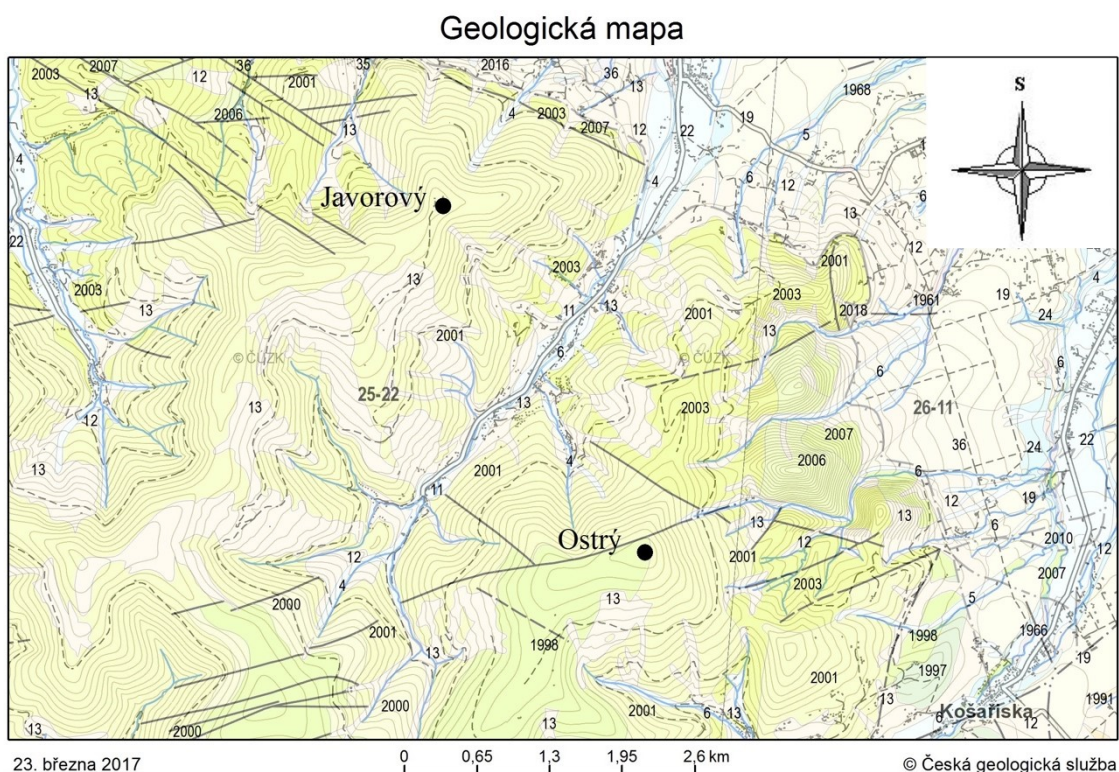
K vlivu na kvalitu ovzduší v této oblasti přispívají i lokální topeniště a doprava. Lokální topeniště mohou být v některých oblastech významným producentem emisí a hlavním zdrojem znečištění ovzduší. V některých oblastech se podílí na znečištění ovzduší až 80 %. Podle Českého statistického úřadu bylo v roce 2011 v Moravskoslezských domácnostech provozováno téměř 55 000 kotlů na tuhá paliva jako jsou koks, uhlí, dřevo a uhelné brikety (www.lokalni-topeniste.msk.cz).

Ke zlepšení situace v Moravskoslezském kraji, ale i v České republice přispívají tzv. kotlíkové dotace, jejichž cílem je výměna zastaralých kotlů v domácnostech za nové nízkoemisní ekologické zdroje vytápění (<http://vytapieni.tzb-info.cz>). Statistiky ministerstva životního prostředí potvrzují že díky těmto dotacím začaly domácnosti hromadně s výměnou kotlů (www.tretiruka.cz). Příkladem je tzv. doplňková výzva dotací z roku 2017 na výměnu starých kotlů za ekologické, kdy lidé vyčerpali během několika minut celkem 55 milionu korun (<http://ostrava.idnes.cz>).

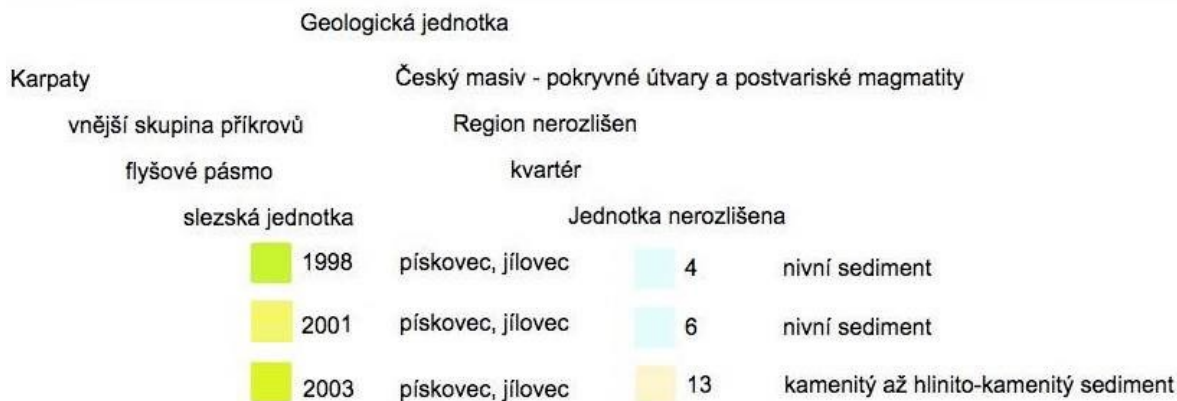
Podle platného Zákona o ochraně ovzduší v ČR smí být od roku 2014 na českém trhu uváděny jen kotle 3. emisní třídy a vyšší. Od roku 2018 to budou jen kotle 4. emisní třídy a vyšší a od roku 2022 nebude možné v domácnostech provozovat neekologické kotle 1. a 2. emisní třídy (<http://vytapieni.tzb-info.cz>).

3.1 Geologie oblasti

Vybraná část geologické mapy České geologické služby (ČGS) se nachází na obrázku 3 a legenda ke geologické mapě na obrázku 4. Podle mapy se v oblasti Javorového nachází podložní jednotky označené čísly 4, 13, 2001 a 2003. V oblasti Ostrého se nacházejí podložní jednotky 4, 6, 13, 1998, 2001, 2003.



Obrázek 3: Geologická mapa zkoumaných oblastí (<http://mapy.geology.cz>)



Obrázek 4: Legenda ke zkoumané oblasti na geologické mapě (<http://mapy.geology.cz>)

Zájmové území se nachází v oblasti flyšového pásma Západních Karpat. Pro flyšové pásmo je charakteristické střídání jílovitých a písčitých sedimentů. Jedná se o sedimenty, v nichž převládají hlavně jílovce, pískovce, prachovce a slepence. Povrchová geologická stavba Moravskoslezských Beskyd nese znaky mladě vyvrásněného pohoří (MENČÍK et al., 1983). Vzhledem k zeměpisné pozici naší zkoumané oblasti, spadají do vnější skupiny příkrovů dvě geologické jednotky: slezská a podslezská jednotka.

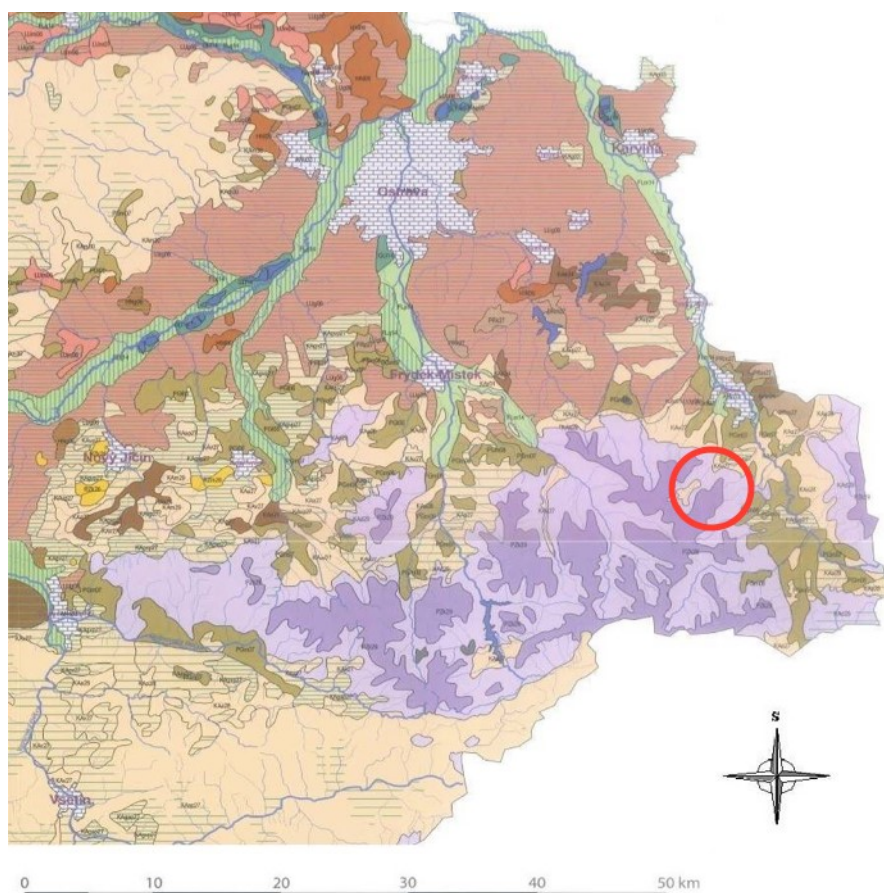
Slezská jednotka je tvořena sedimenty ve stratigrafickém rozsahu oxford až oligocén a obsahuje úplný sled křídových sedimentů, od beriasu až po maastricht. Na základě jejich litofaciální diferenciace jsou v ní rozlišovány vývoje godulský, bašský a kelčský. V nižší části spodní křídý (neokom) se uplatnil bazický vulkanismus hornin těšínitové formace. Složitou vnitřní stavbu jednotky určuje godulský příkrov, vyztužený mohutným tělesem písčitého flyše (godulské a istebňanské souvrství). Slezská jednotka je rozšířena v Moravskoslezských Beskydech a v Podbeskydské pahorkatině (ČTYROKÝ, STRÁNÍK, 1995; www.moravske-karpaty.cz).

Podslezská jednotka je složena ze dvou hlavních příkrovů. Spodní příkrov se nasunul na karpatskou předhlubeň, vyplněnou sedimenty karpatu ještě před sedimentací spodního badenu. Svrchní příkrov se sunul přes spodnobadenskou předhlubeň. Podslezská jednotka má od svrchní křídý (frýdecké souvrství) do svrchního eocénu (frýdlantské souvrství) neflyšový, převážně jílovcový vývoj s polohami tempestitů. Zvláště vysoká je převaha pelitů ve vrstvách vyššího eocénu (vyšší část frýdlantského souvrství) a v sedimentech spodního a středního oligocénu (menilitové souvrství). Ve svrchní křídě (turon) až svrchním eocénu je charakterizována faciálně diferencovanou psefitickou sedimentací (www.moravske-karpaty.cz; ČTYROKÝ, STRÁNÍK, 1995).

Horniny těšínitovité asociace jsou typické pro oblast Moravskoslezských Beskyd. Název těšínit je odvozen od města Český Těšín, v jehož okolí se tyto horniny vyskytují. Výskyt těchto hornin je ale v naší zkoumané oblasti jen sporadický. Patří k nim ojedinělé pravé žíly, pronikající spodními těšínskými vrstvami, které se nachází v okolí Třince. V horninách těšínovité asociace se nacházejí minerály jako **magnetit** a **limonit**. (MENČÍK et al., 1983, RAMIRÉZ, 2014).




3.2 Půdní typy oblasti

Podle části půdní mapy ČR (obrázek 5), se ve zkoumané části v oblasti Javorového a Ostrého nacházejí níže popsané půdní typy a subtypy.



Obrázek 5: Půdní mapa vybrané oblasti (KOZÁK, 2009)

Legenda:

-  - kambizem modální
-  - kambizem dystrická
-  - kryptopodzol, podzol

Kambizemě představují nejčastější půdní typ v České republice. Vyskytují se na rozsáhlém území ve značně rozdílných klimatických podmínkách i na rozdílných půdotvorných substrátech. Původními společenstvy kambizemí jsou listnaté a smíšené lesy

tvořené především bukem, dubem a jedlí. [Pro kambizemě je charakteristický kambický hnědý horizont], který vznikl zbarvením oxidy a hydroxidy železa. (HAUPTMAN, 2009) Kambizemě se nejčastěji vytvářejí ve svažitých podmínkách pahorkatin, vrchovin a hornatin. Vznik těchto půd podmiňuje jejich velkou rozmanitost z hlediska trofismu, zrnitosti a skeletovitosti. V hlavním souvrství dochází obecně k posunu zrnitostního složení do střední kategorie ve vztahu k bazálnímu souvrství, k čemuž přispívá i jejich obohacení prachem. Podle specifických substrátových, klimatických a vegetačních podmínek nalézáme u kambizemí veškeré formy nadložního humusu. Obsah a kvalita humusu stoupá od nejlehčích k těžším půdám a půdám z eutrofních substrátů (KOZÁK, NĚMEČEK, 2009).

Kryptopodzoly se nejčastěji vyskytují ve vyšších polohách (nad 800 m n. m), v některých případech i v nižších polohách. Vytvářejí se v horských podmínkách v krycím a v hlavním souvrství přemístěných zvětralin lehčího zrnitostního složení (žul, pískovců apod.). Horské kryptopodzoly jsou charakterizovány perudickým vodním a frigidním teplotním režimem. Kryptopodzoly nemají eluviální E horizont v důsledku zvýšeného množství organických látek (HAUPTMAN et al., 2009). Reliéf je nejčastěji svažitý, horský. Kryptopodzoly vznikly pod smíšenými porosty s převahou buku, smrku a jedle (KOZÁK, NĚMEČEK, 2009).

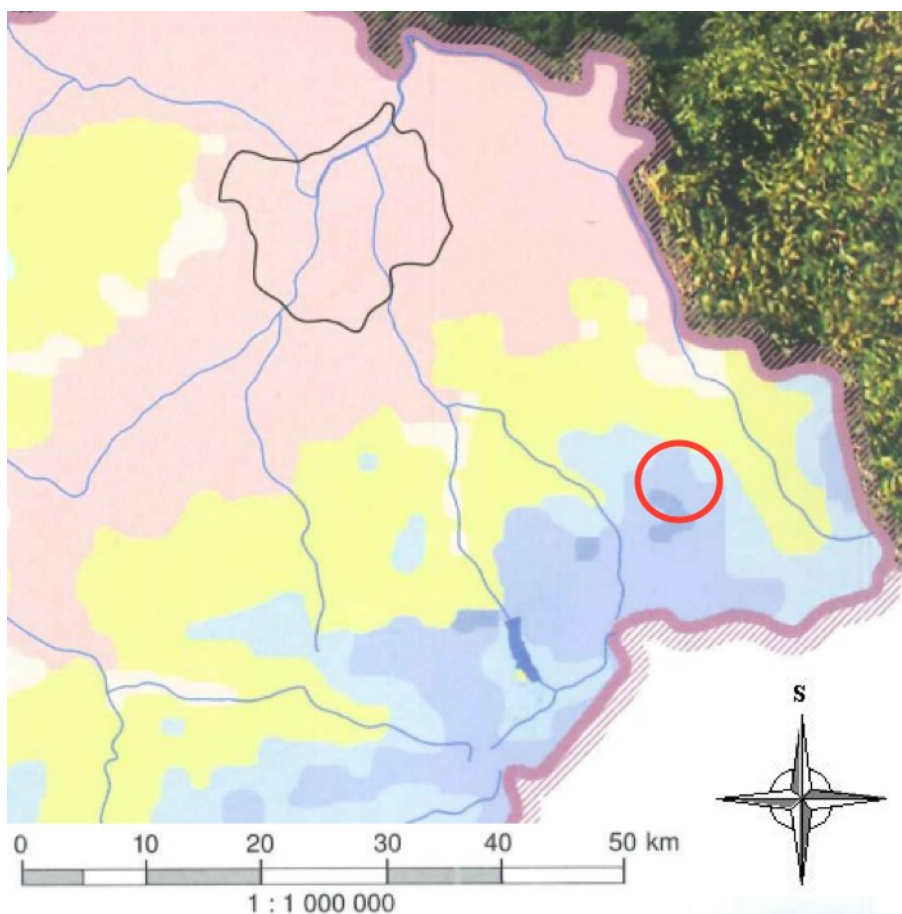
Hlavním půdotvorným pochodem při tvorbě rezivých půd je intenzivní vnitropůdní zvětrávání, doprovázené výrazným uvolňováním seskvioxidů (Fe, Al). Jako lesní půdy mívají obvykle vysokou produktivitu (TOMÁŠEK, 2007).

Podzoly se vyznačují vyběleným, eluviálním E horizontem ochuzeným o hliník a železo. Transport je podmíněn organickými kyselinami vzniklými z rozkládajícího se odpadu (HAUPTMAN et al., 2009).

Podzoly jsou půdy s výrazně nenasyčeným sorpčním komplexem ($V < 20\%$ u lesních půd) a s výraznou migrací komplexů Fe, Mn, Al s organickými kyselinami o malé molekule. Obsah humusu je vysoký nejen v humusovém horizontu ($< 4-5\%$) ale i v Bhs ($< 5\%$). Humusovou formou je převážně surový humus. Podzoly se vytvářejí na svahovinách přemístěných zvětralin hornin dávajících lehčí zvětralinu (žuly, pískovce apod.), obsahujících nejen hlavní, ale i krycí souvrství a na písčích nižších poloh. Horské podzoly nikdy neprosychají. V přirozených lesích převládá smrk (KOZÁK, NĚMEČEK, 2009).

3.3 Klimatické podmínky a podnebí

Beskydy patří k srážkově nejbohatším lokalitám na území celé České republiky. Nejvíce srážek za rok spadne na nejvyšším vrcholu Beskyd – Lysé hoře (1323 m n.m.), s průměrem 1390,8 mm za rok. V červnu až srpnu spadne v Beskydech nejvíce srážek, kdežto v únoru a březnu nejméně. Beskydy se taktéž řadí k oblastem s nejbohatší sněhovou pokrývkou, jejíž souvislá vrstva se na hřebenech drží v průměru 150 až 180 dní (www.beskydy.ochranaprirody.cz; www.risy.cz; www.webserver.cz).



Obrázek 6: Část mapy klimatologických podmínek (TOLASZ, 2007)

U vyhodnocování klimatických poměrů naší vybrané oblasti jsem vycházel z knihy Atlas podnebí Česka (TOLASZ, 2007). Oblast Javorového a Ostrého se nachází v chladné (C7, C6 a C5), až mírně teplé oblasti (MW1). Zkoumaná oblast je vyznačena červeně na obrázku 6 a podrobnější hodnoty této oblasti jsou uvedeny v tabulce 2 (C7, C6-tmavě modrá, C5-modrá, MW1-světle modrá).

Tabulka 2: Charakteristika klimatických oblastí MW1, C5, C6 a C7 (TOLASZ, 2007)

Charakteristické vlastnosti oblasti	oblast MW1	oblast C5	oblast C6	oblast C7
Počet letních dní	20–30	10–30	10–30	10–30
Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více	120–140	100–120	120–140	120–140
Počet dní s mrazem	160–180	140–160	140–160	140–160
Počet ledových dní	40–50	60–70	60–70	50–60
Průměrná lednová teplota ve °C	-5 až -6	-5 až -6	-4 až -5	-3 až -4
Průměrná červencová teplota ve °C	15–16	14–15	14–15	15–16
Průměrná dubnová teplota ve °C	5–6	2–4	2–4	4–6
Průměrná říjnová teplota ve °C	6–7	5–6	5–6	6–7
průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	120–130	120–140	140–160	120–130
Suma srážek ve vegetačním období v mm	500–600	500–600	600–700	500–600
Suma srážek v zimním období v mm	300–350	350–400	400–500	350–400
Počet dní se sněhovou pokrývkou	100–120	120–140	120–140	100–120
Počet zatažených dní	120–150	140–150	150–160	150–160
Počet jasných dní	40–50	30–40	40–50	40–50

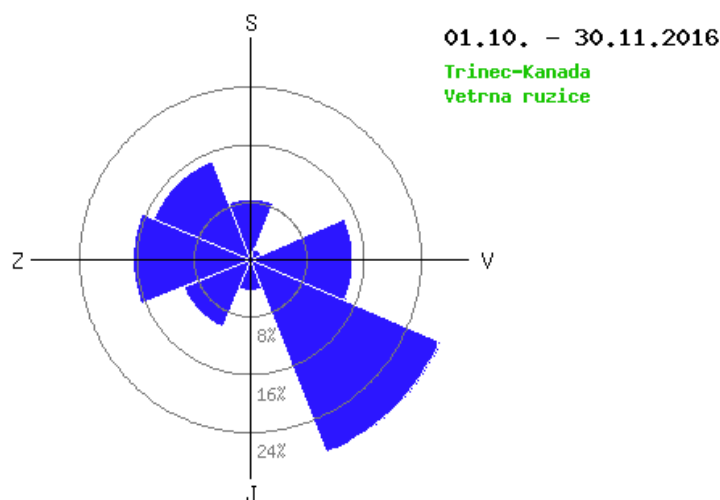
Území Beskyd se nachází ve dvou klimatických oblastech. Území nižších poloh, zejména Jablunkovské brázdy a Podbeskydské pahorkatiny patří do oblasti mírně teplé (MW1), která je charakterizována mírným létem, krátkým přechodným obdobím a středně dlouhou, mírnou a suchou zimou. Průměrné teploty vzduchu v červenci jsou zde 16–17 °C a v lednu -2 až -4 °C (www.risy.cz).

Vyšší polohy se nacházejí v chladných klimatických oblastech (C5, C6, C7). Pro tyto oblasti je charakteristické velmi krátké léto, chladné až mírně chladné, dlouhé přechodné období a dlouhá a chladná zima. Průměrná teplota vzduchu v červenci je 12–15 °C a v lednu -3 až -7 °C (www.risy.cz).

Beskydy patří k srážkově nejbohatším lokalitám na území celé České republiky. Nejvíce srážek za rok spadne na nejvyšším vrcholu Beskyd – Lysé hoře (1323 m n.m.), s průměrem 1391 mm za rok. Nejvíce srážek spadne v Beskydech v červnu až srpnu, nejméně v únoru a březnu (www.risy.cz).

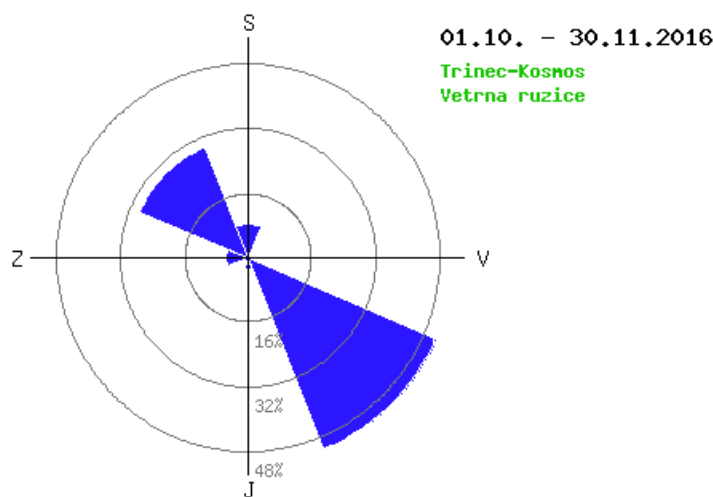
Směr proudění větru je důležitým meteorologickým faktorem, který může zásadním způsobem ovlivňovat úroveň znečištění ovzduší v každé lokalitě v návaznosti na zdroje znečištění ovzduší v jejím okolí (air-silesia.eu). Vítr má vliv na klimatické faktory, především na oblačnost, srážky a teplotu. Vítr se projevuje i přímo na vegetaci (www.beskydy.ochranaprirody.cz).

Na obrázku 7 se nachází větrná růžice početnosti z automatizované monitorovací stanice (AMS) Třinec-Kanada. V období odběru vzorků (říjen – listopad 2016) zde převažoval jihovýchodní směr proudění větru s občasným prouděním západního a severozápadního směru.



Obrázek 7: Větrná růžice početnosti v AMS Třinec – Kanada (<http://mail.envitech.sk>)

Obrázek 8 znázorňuje větrnou růžici početnosti za období říjen – listopad, která pochází z automatizované monitorovací stanice (AMS) Třinec-Kosmos. Z obrázku vyplývá, že za uvedené období zde převládal jihovýchodní směr proudění větru s občasným severozápadním prouděním.



Obrázek 8: Větrná růžice početnosti v AMS Třinec – Kosmos (<http://mail.envitech.sk>)

4 GEOCHEMICKÁ A MORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA MAGNETICKÝCH ČÁSTIC

Magnetická anomálie v půdě je výsledkem akumulace magnetických minerálů (většinou oxidy železa a hydroxidy) přírodního i antropogenního původu. Jejich přítomnost v půdě může být snadno detekována měřením magnetické susceptibility, což je závislý parametr koncentrace (MAGIERA et al., 2011).

Železo je jedním z nejběžnějších prvků v zemské kůře. Železo se jen zřídka vyskytuje v čistém stavu, avšak výskyty oxidů železa, jako jsou magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) a hematit (Fe_2O_3) jsou zcela běžné. Tyto oxidy železa mohou být uvolněny do životního prostředí v důsledku přírodních procesů (např. povrchní eroze, sopečné erupce a požáry) a antropogenních procesů (např. spalování fosilních paliv, oděr automobilových částí a průmyslové emise). Vlastnosti těchto oxidů železa jsou snadno zjistitelné pomocí jednoduchých měření (REVUELTA et al., 2014).

4.1 Magnetit vznikající při antropogenní činnosti

Popílký kromě silikátů obsahují alumosilikáty železa, oxidy železa a často se v nich vyskytuje magnetit. Všechny částičky popílku se chovají jako minerální látky paramagnetické až feromagnetické, tj. látky s určitou magnetickou susceptibilitou (FEČKO et al., 2003).

Strukturní mřížka přírodního magnetitu se vytvářela v dlouhodobém procesu krystalizace (MICHALÍKOVÁ et al., 2010)

Minerální novotvar magnetitu ze spalování uhlí vzniká během několika sekund, má ve srovnání s přírodním magnetitem větší pórovitost, v důsledku čehož má:

- nižší hustotu / měrnou hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]: 3,2–4,2 (4,5–5 u přírodního magnetitu)
- nižší specifickou magnetickou susceptibilitu [$\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$]: $3900\text{--}5000\cdot 10^{-6}$ ($9000\text{--}10800\cdot 10^{-6}$ u přírodního magnetitu)
- nižší tvrdost: 5–5,5 (5,5–6 u přírodního magnetitu)

V koncentrátech železa z popelů je nejvíce zastoupen magnetit, méně maghemit a hematit, vzácně wüstit a kovové Fe (MICHALÍKOVÁ et al., 2010).

Antropogenní magnetit je transportován v atmosféře ve formě částic, které jsou unášeny ve směru proudícího větru. Depozice částic se řídí meteorologickými podmínkami (KAPIČKA et al., 1999).

V tepelných elektrárnách spalujících fosilní paliva se do emisí dostává magnetit (Fe-spinely) jako produkt vysokoteplotní taveniny. Magnetit a Fe-spinely vznikají z pyritu, markazitu, sideritu a jílových minerálů. Pyrit je jedním z nejvýznamnějších minerálů Fe obsažených v uhlí, který je při spalování za oxidačních podmínek přeměněn na pyrrhotit-magnetit-hematit. Hlavním produktem rozkladu sideritu je wüstit (FeO). Po ochlazení se však wüstit jen vzácně zachová (obvykle pouze jako jádro částic) a transformuje se na magnetit (VENEVA et al., 2004).

V jílovitém podílu uhlí je obsažen jako příměs hydratovaný $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, který přechází při spalování v hematit a postupně v redukčním prostředí na magnetit (FEČKO et al., 2003).

4.2 Magnetit v podložních horninách

Všechny horniny, sedimenty a půdy obsahují určité, vedlejší množství Ferri(o)magnetických minerálů. Tyto fáze jsou: Fe-oxidy (magnetit – Fe_3O_4 , maghemit γ – Fe_2O_3 , hematit, α – Fe_2O_3); Fe-hydroxidy (goethit, α – FeOOH), Fe-sulfidy (pyrrhotin – Fe_7S_8 ; greigit – Fe_3S_4) nebo podobné fáze (HOFFMANN et al., 1999).

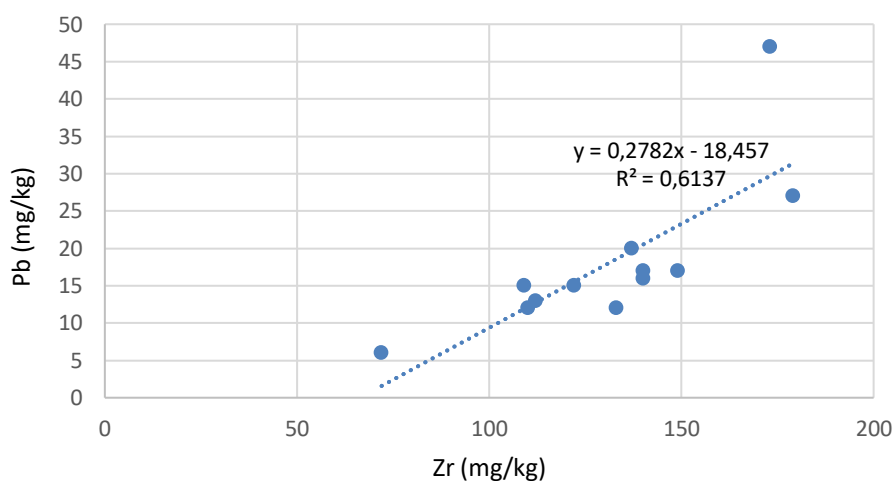
Magnetit je ve formě jemnozrnných částic součástí takřka všech bazických vyvřelých hornin, většiny sedimentárních hornin a téměř ve všech půdách. Je hojně přítomen v čedičích, gabrech, hadcích a peridotitech, kde jeho koncentrace může dosáhnout až ložiskových hodnot (www.mineraly.net; DEARING, 1994; www.starahut.com).

Magnetit je minerál s nejvyšším obsahem železa (72,4 %). Často vytváří izometrické krystaly. Magnetit je nejsilnější magnetický minerál, který se nachází v přírodě. (<http://geology.com>).

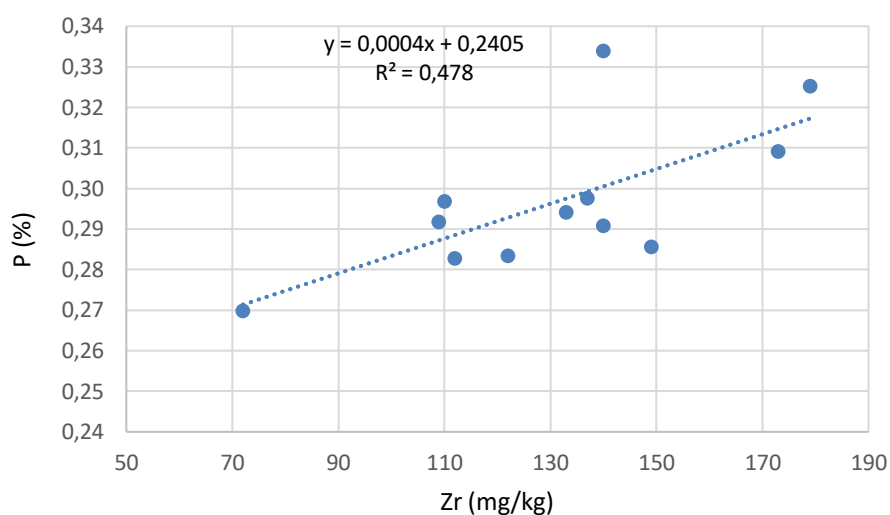
Pro magnetit je důležitá *Curieova teplota* (T_c). Při překročení této teploty je magnetizace v magnetitu narušena a magnetit přestává být ferimagnetický. Curieova teplota pro magnetit je 580 °C (EVANS, HELLER, 2003).

Zr se nachází v minerálu zirkonu a do prostředí se nedostává antropogenní činností. Obsahy zirkonu se v celosvětovém průměru pohybují okolo 230 mg·kg⁻¹ (DE LIMA, DE SOUZA, 2014).

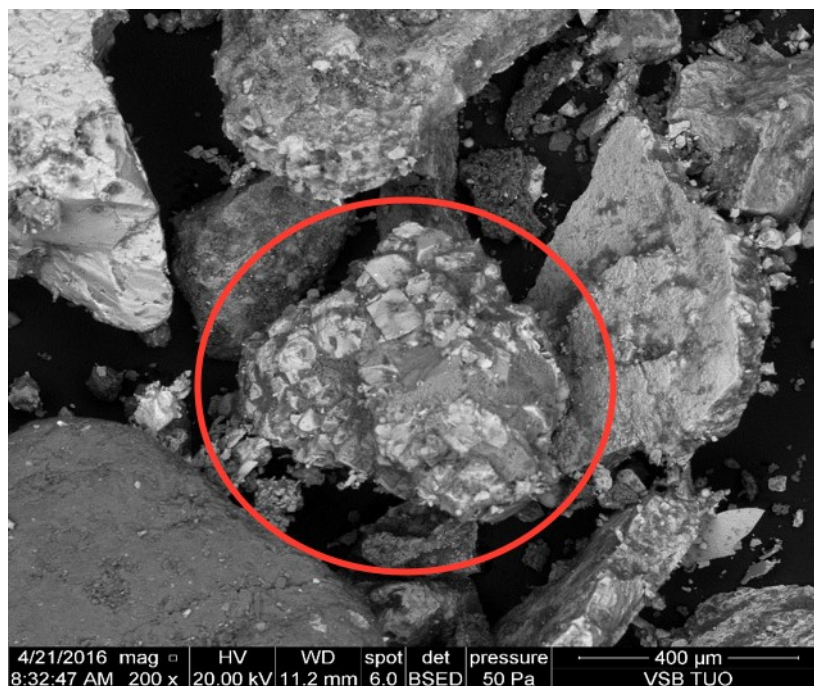
Výzkumy (DE LIMA, DE SOUZA, 2014) a (KOHUT, 2016) prokázaly statisticky významné korelace mezi obsahem Zr s obsahem Pb a P (obrázek 9 a 10). Tyto závislosti prokázaly, že Zr se do prostředí nedostává antropogenní činností, ale je součástí těžkých minerálů v sedimentech (zirkon) Pb a P indikuje, že oba prvky se nachází v minerálech horninového původu (P-apatit, fluorapatit).



Obrázek 9: Závislost mezi Zr a Pb (KOHUT, 2016)



Obrázek 10: Korelační závislost mezi Zr a Fe (KOHUT, 2016)



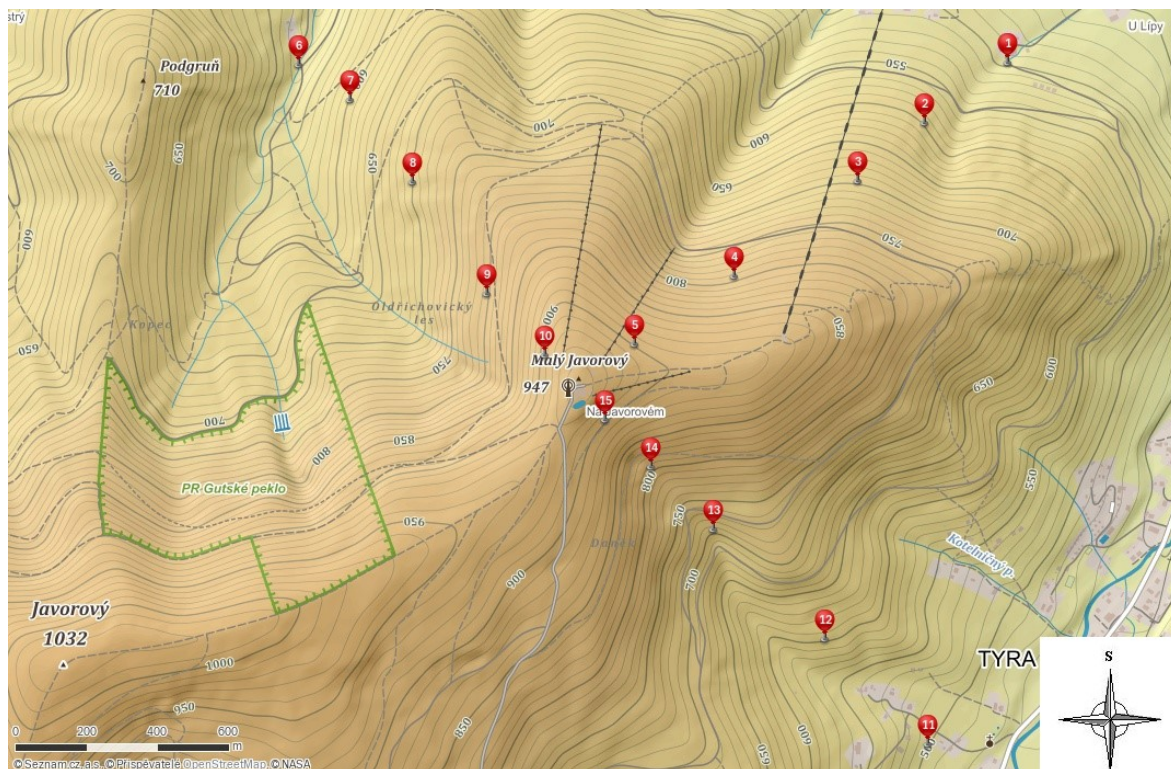
Obrázek 11: Ostrohranné částice magnetitu z horniny, ostatní světlé částice také reprezentují magnetit (KOHUT, 2016)

5 ODBĚR A ANALÝZA VZORKŮ

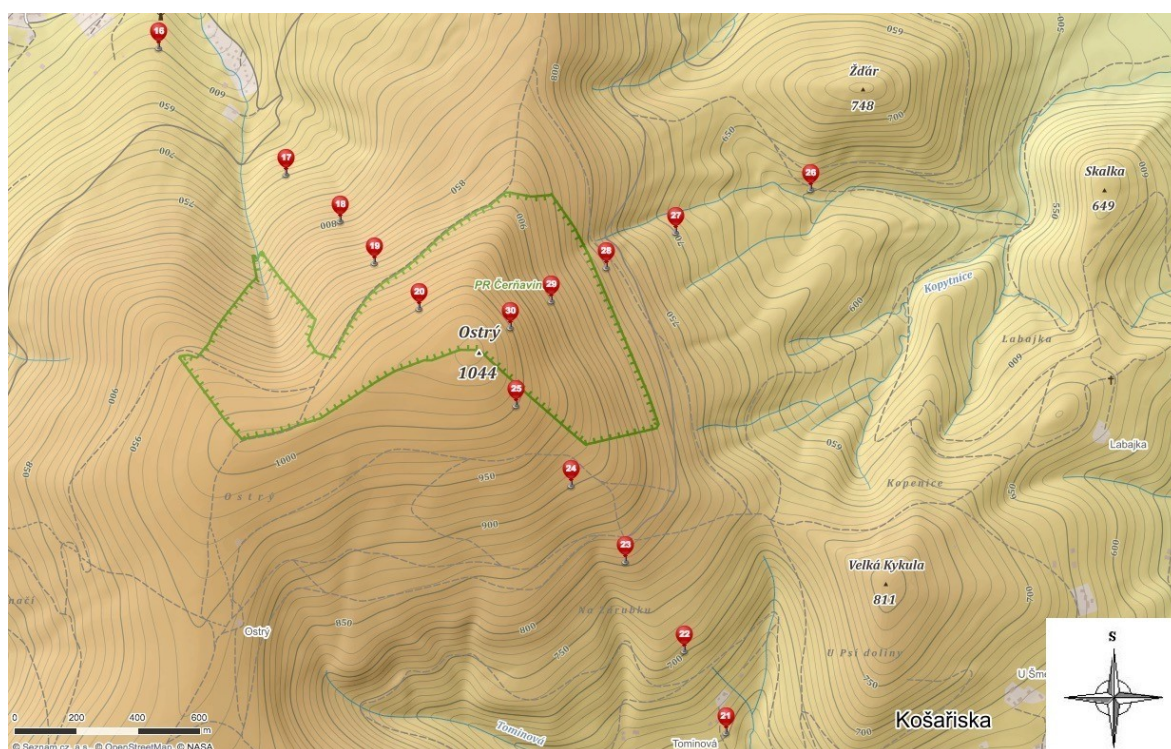
V rámci řešení diplomové práce byl proveden.

- Odběr vzorků, jejich příprava a homogenizace pro další analýzy
- Stanovení chemického složení půd – obsah rizikových prvků metodou RTG-fluorescence, dále bylo provedeno měření magnetické susceptibility a stanovení organických látek v půdách.
- Dále byla magnetem vyseparována magnetická frakce půd – byla provedena chemická analýza a vyseparované magnetické částice byly také analyzovány metodou RTG-fluorescence a dále byly použity k přípravě nábrusů pro chemickou analýzu na mikrosondě.

Místa odběru byla navržena podle systematického přístupu, který je popsán v normě ČSN EN ISO 19258. V návaznosti na mou bakalářskou práci a po konzultaci s vedoucí mé diplomové práce prof. Ing. Helenou Raclavskou, CSc. byly zvoleny stejné lokality jako u mé bakalářské práce. Podvrchol Malý Javorový (obrázek 12) a vrchol Ostrý (obrázek 13). Směr odběru vzorků byl zvolen podle převažujících směrů větrů v oblasti. Vzorky v obou lokalitách byly odebrány ve třech směrech (SV, SZ, JV), ve vzdálenostech po 100 m n. m. Vzorky lesních půd z obou lokalit byly odebrány převážně z listnatých až smíšených lesů, v rozmezí dvou měsíců (říjen–listopad 2016). Před odebráním vzorku byla odhrnuta vrstva hrabanky a poté byl odebrán vzorek zeminy o průměrné hmotnosti 0,5 – 1 kg, z hloubky 5 – 10 cm. Vzorky byly odebírány pomocí sázecí lopatky a poté byly umístěny do předem připravených LPDE sáčků. Tímto způsobem bylo odebráno všech 30 vzorků. Poté byly všechny odebrané vzorky uchovány v místnosti s nízkou vlhkostí a s omezeným přísunem tepla, podle normy ČSN EN ISO 19258.



Obrázek 12: Oblast odběru vzorků – podvrchol Malý Javorový (www.mapy.cz)



Obrázek 13: Oblast odběru vzorků – vrchol Ostrý (www.mapy.cz)

V laboratoři byly nejprve všechny vzorky vysušeny v sušárně při teplotě 40 °C. Po vysušení byly vzorky ručně podrceny. V dalším kroku byla provedena homogenizace vzorků, při které byly jednotlivé podrcené vzorky prosety přes síto s průměrem ok 2 mm a poté byly umístěny do předem připravených, číselně nadepsaných papírových sáčků (obrázek 14). Veškerá příprava vzorků byla provedena podle normy ČSN ISO 11464.



Obrázek 14: Homogenizace vzorku

5.1 Odběr vzorků – metody chemické analýzy půd

5.1.1 RTG – fluorescenční analýza

Rentgenová fluorescenční analýza (XRF) je jednou z nedestruktivních analytických metod, používaných pro provádění elementární analýzy u všech druhů vzorků bez ohledu na to, zda je třeba analyzovat kapaliny, pevné látky nebo prachové částice (<http://chromedia.org>). Tato metoda je jednou z nejrozšířenějších metod pro analýzu hlavních a stopových prvků v půdách, horninách, minerálech a sedimentech (<http://serc.carleton.edu>).

Analýza hlavních a stopových prvků pomocí rentgenové fluorescence je umožněna chováním atomů, když interagují s radiací. Když jsou zkoumané vzorky vystaveny působení vysokoenergetického, krátkovlnného záření (např. Rentgenového záření), mohou být ionizovány. Pokud je energie radiace dostačující k uvolnění pevně drženého vnitřního elektronu, atom se stává nestabilní a vnější elektron nahrazuje chybějící vnitřní elektron. Když k tomu dojde, uvolní se energie kvůli snížené vazebné síle vnitřního elektronového

orbitalu ve srovnání s vnějším elektronem. Vyzařované záření má nižší energii než primární rentgenové záření a je nazýváno fluorescenčním zářením. Vzhledem k tomu, že energie emitovaného fotonu je charakteristická pro přechod mezi specifickými elektronovými orbitaly v určitém prvku, může být výsledné fluorescenční rentgenové záření použito k detekci množství prvků přítomných ve vzorku (<http://serc.carleton.edu>).

Množství koncentrace vybraných prvků v odebraných půdních vzorcích bylo provedeno pomocí mobilního analyzátoru Innov-X. RTG-fluorescenční spektrometr umožňuje nedestruktivní stanovení 26 prvků v půdách. Spolu se standardními prvky Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Hf, W, Ta, Re, Pb, Ag, Sn, Bi přístroj dokáže analyzovat prvky, jako jsou Au, Pd, Pt, Ir, Rh a dále pak samozřejmě prvky Al, Mg, Si, P, S bez použití vakua či hélia, a to s bezkonkurenční analytickou přesností a rychlostí. Je možné přidat i další měřené prvky (KANTOR, 2015).

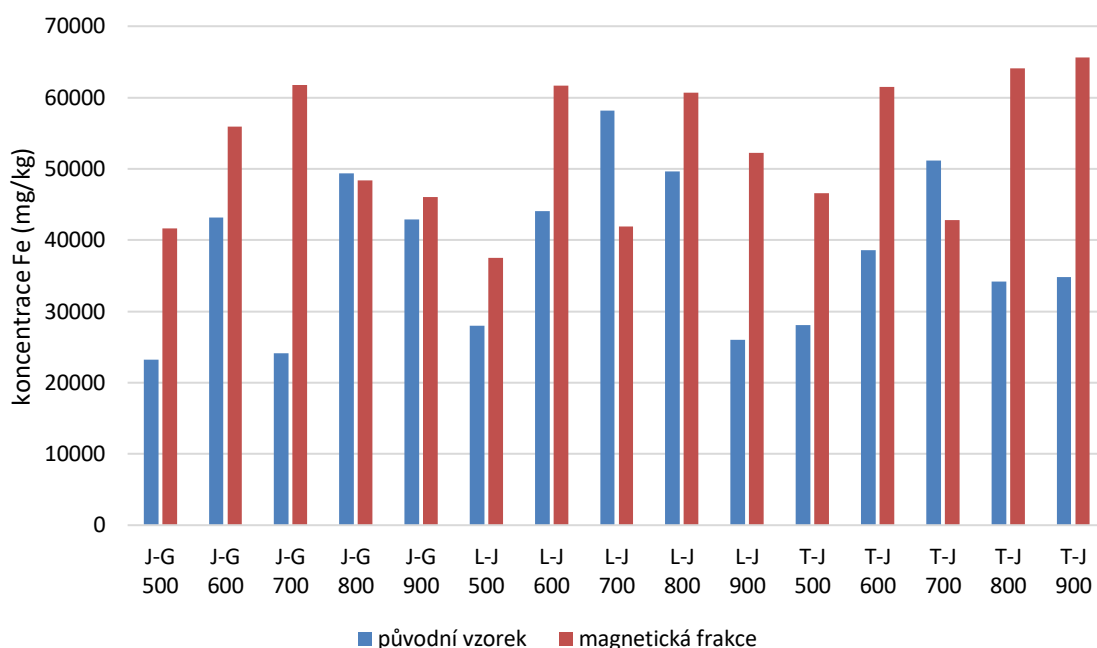
Výsledky měření zájmových prvků z oblasti Javorového jsou uvedeny v tabulce 3. Výsledky pro Oblast ostrého se nachází v tabulce 4. U vybraných vzorků jsou ve sloupcích uvedeny hodnoty koncentrace v původních půdních vzorcích a hodnoty vyseparované magnetické části (x-M). Vzorky, u kterých je uvedeno ND znamenají, že naměřená hodnota byla pod mezí detekce.

Tabulka 3: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy zkoumaných prvků z oblasti Javorového (mg/kg)

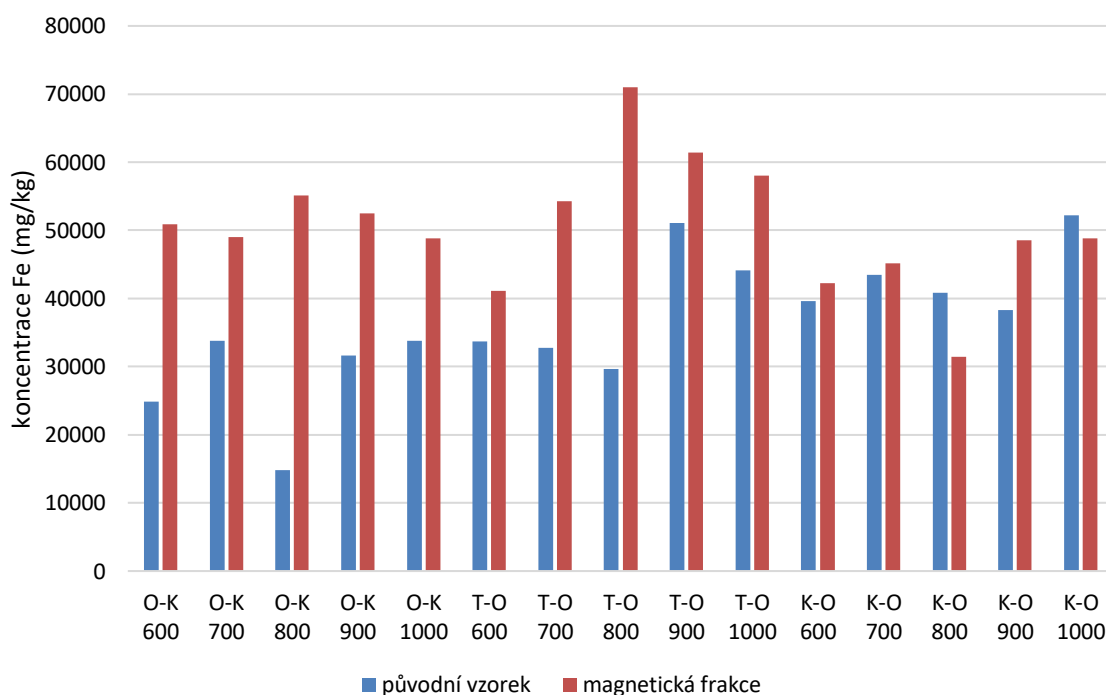
Vzorek	Fe	Fe – M	Zn	Zn – M	Pb	Pb – M	Cu	Cu – M
J-G 500	23178	41639	267	321	77	198	30	48
J-G 600	43151	55874	354	451	424	477	77	87
J-G 700	24141	61755	150	522	216	522	32	83
J-G 800	49358	48362	445	423	632	400	103	76
J-G 900	42908	46066	399	507	481	386	76	61
L-J 500	27978	37498	230	415	152	108	35	41
L-J 600	44094	61640	363	502	378	472	67	97
L-J 700	58194	41922	421	332	315	349	83	63
L-J 800	49626	60654	388	561	516	734	101	127
L-J 900	26007	52279	98	512	76	597	19	100
T-J 500	28113	46562	171	439	91	342	30	60
T-J 600	38600	61524	290	552	373	454	63	96
T-J 700	51134	42788	391	401	393	326	63	49
T-J 800	34165	64110	264	694	268	621	44	122
T-J 900	34805	65579	320	713	280	507	43	131
Vzorek	Ni	Ni – M	Cr	Cr – M	As	As – M	Mn	Mn – M
J-G 500	17	27	89	56	1,6	3,5	1728	965
J-G 600	ND	13	54	40	6,3	8,6	664	863
J-G 700	ND	14	36	84	4,4	9,2	195	900
J-G 800	12	9	60	62	8,4	9,6	742	693
J-G 900	9	12	64	35	5,5	7,4	654	604
L-J 500	13	14	78	34	2,9	2,6	541	2212
L-J 600	16	ND	83	49	6,1	9,0	608	948
L-J 700	16	ND	106	26	7,7	7,6	904	433
L-J 800	15	13	83	56	7,7	11,3	715	925
L-J 900	10	13	66	61	2,1	8,7	358	751
T-J 500	23	16	79	42	1,8	5,6	518	549
T-J 600	10	14	58	52	6,4	7,5	576	970
T-J 700	15	11	81	52	6,6	5,8	775	496
T-J 800	8	16	67	85	5,4	9,7	484	956
T-J 900	17	20	68	87	4,8	7,7	435	1049

Tabulka 4: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy zkoumaných prvků z oblasti Ostrého (mg/kg)

Vzorek	Fe	Fe – M	Zn	Zn – M	Pb	Pb – M	Cu	Cu – M
O-K 600	24879	50889	186	377	160	409	31	66
O-K 700	33803	49025	315	327	254	183	39	58
O-K 800	14798	55088	110	388	163	305	23	62
O-K 900	31622	52481	172	449	133	385	27	78
O-K 1000	33824	48796	340	661	384	1162	62	133
T-O 600	33694	41132	278	366	261	218	43	54
T-O 700	32769	54267	224	487	284	499	46	86
T-O 800	29662	71041	238	534	216	359	33	89
T-O 900	51084	61381	519	502	514	642	91	127
T-O 1000	44173	58060	441	289	408	157	82	46
K-O 600	39588	42289	256	344	328	241	49	48
K-O 700	43444	45174	261	466	160	318	52	61
K-O 800	40837	31479	250	274	243	282	39	44
K-O 900	38300	48582	253	346	246	198	51	45
K-O 1000	52225	48797	652	531	985	538	120	96
Vzorek	Ni	Ni – M	Cr	Cr – M	As	As – M	Mn	Mn – M
O-K 600	12	10	81	53	3,4	8,5	303	613
O-K 700	7	31	50	85	4,0	7,0	505	596
O-K 800	ND	25	49	70	2,7	7,5	165	606
O-K 900	9	11	59	70	3,5	8,4	276	585
O-K 1000	ND	15	62	45	3,6	14,4	436	628
T-O 600	7	21	65	55	4,2	4,7	462	724
T-O 700	7	20	58	69	5,1	8,7	488	725
T-O 800	13	22	63	86	4,1	9,4	385	1146
T-O 900	18	19	93	75	7,2	11,8	759	921
T-O 1000	15	ND	90	38	6,0	5,4	617	587
K-O 600	10	10	68	57	6,0	5,7	458	520
K-O 700	31	11	113	35	6,2	5,6	507	671
K-O 800	23	ND	102	25	5,0	4,9	456	419
K-O 900	8	11	77	43	5,0	5,6	408	497
K-O 1000	17	12	64	54	9,6	8,1	727	584



Obrázek 15: Graf porovnání koncentrací Fe ve vzorcích z oblasti Javorového



Obrázek 16: Graf porovnání koncentrací Fe ve vzorcích z oblasti Ostrého

Z předchozích grafů 15 a 16 vyplývá, že u některých vzorků nedošlo k nabohacení magnetickými částicemi. Jednou z příčin může být, že tyto magnetické částice nemusí obsahovat magnetity ale minerály ze skupiny spinelů, které kromě Fe obsahují Mg, a proto nedošlo ke zvýšení koncentrace Fe (nutno ověřit mikroanalýzou SEM-EDX). Další

příčinou může být, že místa odběru vzorků, u kterých nedošlo k nabožení magnetickými částicemi, se nachází v mírně zalesněné oblasti (rovněž nutno ověřit SEM-EDX mikroanalýzou).

5.2 Odběr vzorků – Chemická analýza sněhových srážek

V tabulce 5 jsou uvedeny výsledky chemické analýzy sněhových srážek. Vzorky byly odebrány v období od 25. ledna 2017 do 20. února 2017. Vzorky Guty, Lanovka a Tyra byly odebrány z totožných míst jako vzorky půd číslo 6, 1 a 11 (Obrázek 12) v oblasti Javorového (ve stejném pořadí). Vzorek sněhu Javorový byl odebrán na vrcholu hory v nadmořské výšce okolo 950 m n. m. v SV směru a vzorek Podlesí byl odebrán z pozemku na adrese Konská 268, Třinec, který se nachází v blízkosti Třineckých Železáren.

Tabulka 5: Chemická analýza sněhových srážek

vzorek	pH	vodivost mS/cm	KNK _{4,5} mmol/l	CHSK _{Mn} mg/l	RL mg/l	NL mg/l	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	(NO ₂) ⁻ mg/l	(NO ₃) ⁻ mg/l
Guty	6,31	18,1	0,933	1,68	26,6	22,0	0,014	1,269	0,016	1,710
Javorový	5,17	29,3	0,415	1,68	60,0	32,0	0,025	1,538	0,023	2,178
Lanovka	5,83	31,4	0,519	2,52	40,0	20,0	0,029	2,394	0,063	2,098
Podlesí	6,49	107,4	1,141	17,63	113,3	146,0	0,321	3,515	0,268	2,242
Tyra	5,90	18,0	0,415	0,84	23,3	6,0	0,025	1,266	0,014	1,627
vzorek	(SO ₄) ²⁻ mg/l	(PO ₄) ³⁻ mg/l	(NH ₄) ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Fe μg/l	Mn μg/l	Cu μg/l
Guty	1,639	0,001	0,678	0,91	1,0	1,68	3,06	21	12	671
Javorový	2,508	0,010	0,932	0,391	1,0	1,68	4,58	24	19	75
Lanovka	2,414	0,006	0,977	0,91	2,0	2,52	4,58	22	7	73
Podlesí	7,473	0,001	0,841	0,91	1,0	17,63	5,60	11	94	746
Tyra	1,621	0,003	0,544	0,91	1,0	0,84	1,53	12	6	676

Vysvětlivky: RL-rozpuštěné látky, NL-nerozpuštěné látky

Z tabulky je zřejmé, že koncentrace kationtů a aniontů ve sněhových srážkách jsou na všech lokalitách srovnatelné. Nejvyšší obsahy síranů, chloridů a vápníku byly zjištěny v lokalitě Podlesí. Tato lokalita vykazovala i nejvyšší koncentraci rozpuštěných a nerozpuštěných látek. Vysoká koncentrace rozpuštěných látek je způsobena organickými sloučeninami, které jsou vyjádřeny parametrem chemické spotřeby kyslíku – CHSK. Pravděpodobně se bude jednat o organické sloučeniny uvolňované ze spalování biomasy – anhydrosacharidy (levoglukosan) nebo organické sloučeniny uvolňované z metalurgického

průmyslu a koksovny. Vzhledem k tomu, že tento výsledek nebyl předpokládán, nebyl vzorek odebrán tak, aby analýza, která by prokázala původ organických sloučenin, mohla být provedena. Na druhou stranu, v případě přítomnosti organických sloučenin uvolňovaných ze spalování biomasy, by měla být zvýšena koncentrace K^+ , což se v tomto případě neprokázalo. Z těchto výsledků je zřejmé, že analýza sněhových srážek může poskytovat cenné informace a bylo by zapotřebí se jí samostatně věnovat.

Z tabulky 5 je také zřejmý vysoký obsah rozpuštěných látek, který neodpovídá sumě kationtů a aniontů stanovených v odebraném sněhu. V sekundárních anorganických aerosolech je koncentrace síranů 8 až 10 x vyšší než koncentrace chloridů, zatímco při analýzách sněhu byla srovnatelná.

5.3 Analýzy celkové prašné depozice

Pro identifikaci charakteru emisí z Třineckých železáren jsem použil informace, které jsou uvedeny ve zprávě „Vlastnosti odprašků a možnosti jejich zpracování/využití“ (RACLAVSKÁ et al., 2016), která se zabývá mineralogickým a chemickým složením odprašků. Vysoké obsahy magnetických částic vykazují odprašky.

- Odprašek A – aglomerace (elektrostatické odlučovače)
- Odprašek E – ocelárna
- Odprašek H – sekundární odprašení haly KKO (kyslíko-konvertorová ocelárna)
- Odprašek S – z odsíření surového železa

5.3.1 Mineralogická analýza odprašků

V tabulce 4 jsou uvedeny výsledky mineralogické fázové analýzy 4 druhů odprašků, které byly získány metodou RTG-difrakce.

Tabulka 6: Mineralogická analýza odprašků z Třineckých železáren

minerál	vzorec	Odprašek A	Odprašek E	Odprašek H	Odprašek S
		koncentrace (%)			
Sylvín	KCl	26,33			
Halit	NaCl	11,54			
Portlandit	Ca(OH) ₂	1,64			
Wustit	FeO		3,34	0,45	
Magnetit	Fe ₃ O ₄	19,66	31,1	49,26	42,19
Hematit	Fe ₂ O ₃	23,07	2,11	29,81	18,85
Grafit	C		1,92	5,59	11,52
Laurionit	PbCl(OH)	1,65			
Laurelit	Pb ₇ F ₁₂ Cl ₂	0,98			
Penfieldit	Pb ₂ Cl ₃ (OH)	1,35			
Hydrocerusit	Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂				
C2A gehlenit	Ca ₂ Al (Si,Al) ₂ O ₇	13,76		4,88	4,64
Kalcit	CaCO ₃				
Dolomit	Ca,Mg (CO ₃) ₂				
Křemen	SiO ₂				
Fluorit	CaF ₂		8,4	1,71	
Cr-Mn-Fe spinel			53,1		
Periclas	MgO			1,85	9,6
Lime	CaO			2,44	6,58
Spinel	MgAl ₂ O ₄			0,25	
Zinkit	ZnO			3,77	
CA (kalcium aluminat)	CaO*Al ₂ O ₃				7,52
Množství odprašků (t)/rok (pro rok 2016)		840 000	112	1 592	396

Z výsledků je zřejmé, že významnou částí **odprašků A** z aglomerace jsou oxidy železa (magnetit a hematit), které tvoří bezmála 43 % tuhých znečišťujících látek. Významné jsou také chloridy (NaCl a KCl), které tvoří téměř 38 % emitovaných tuhých znečišťujících látek. Nejvýznamnější fáze s obsahem těžkých kovů jsou Pb-fáze (hydrocerusit, laurelit, laurionit a penfieldit), chloridy a hydroxychloridy olova.

Majoritní fází v **odprašku E** z ocelárny je spinelid s obsahem Cr-Mn-Fe (> 53%). Významné jsou také oxidy železa (magnetit, hematit a wustit), které tvoří téměř 43 % tuhých znečišťujících látek.

Nejvýznamnější podíl v **odprašku H** ze sekundárního odprášení haly KKO zastupují s téměř 80 % oxidy železa (magnetit, hematit a wustit).

Hlavní podíl v **odprašku S** z odsíření surového železa tvoří Fe-oxidy a grafit. Odprašek obsahuje cca 60 % magnetických částic, které vykazují poměrně vysokou čistotu a nemají ve struktuře žádné další kovy (Cr, Mn, Mg). Z hlediska zpětného využití oxidů Fe se tento odprašek jeví jako nejméně problematický.

5.3.2 Chemická analýza odprašků

Chemická analýza odprašků byla provedena v laboratoři Třineckých železáren. Výsledky analýzy jsou uvedeny v následující tabulce 7.

Tabulka 7: Chemická analýza odprašků – distribuce stopových prvků z jednotlivých provozů

	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Sn	Cd	Hg	Pb	Co
	mg/kg												
Odprašek A	ND	1360	ND	1924	206	11,18	25	11	29				
Odprašek E	1440			622	3860	77,4				17,2	4,26	1160	
Odprašek H	402		56,2	138		15,9				121		2660	
Odprašek S	125		14,4	18,4	3080	19,7				ND		44,1	ND

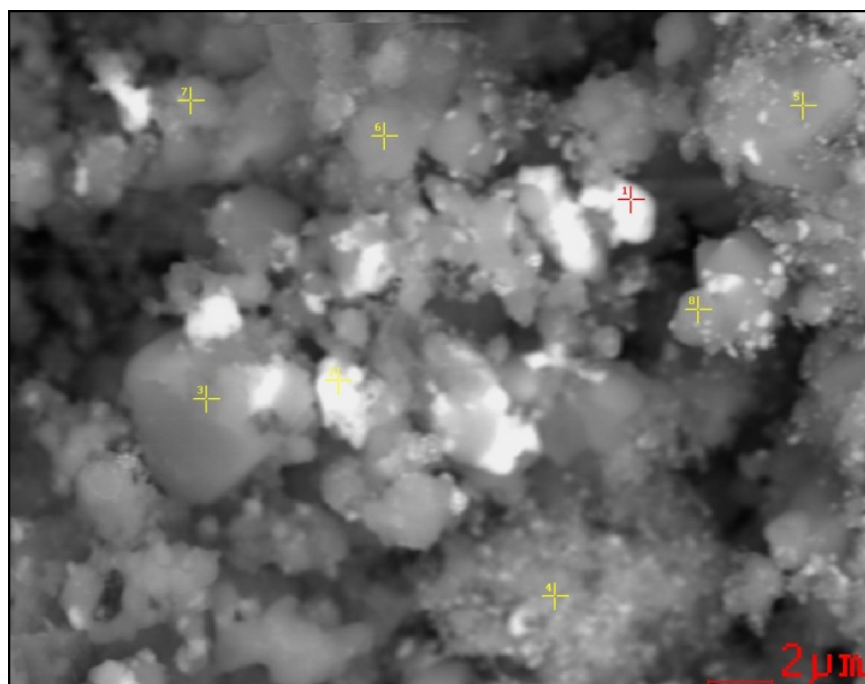
Odprašky E z oceláren jsou odpadem, který je typický vysokým obsahem Zn (zinkit nebo frankinit) a v případě zpracování nerezů i Cr a Ni.

Odprašky H z výroby oceli obsahují hlavně oxidické fáze bohaté na Fe, Cr, Ca, Zn, Mg, Mn a Ni, s minoritním množstvím fází obsahující alkalické kovy (K, Na) a halogeny (Cl, F) a dále Si, Mo, Pb a S (MA, 2006 in STEFANOVA et al., 2013). Nejproblematictějším prvkem je Zn, který je v odprašcích přítomen ve formě zinkitu (ZnO) nebo frankinitu (ZnFe_2O_4). Obsahy Zn se v odprašcích z výroby oceli pohybují v rozmezí 1 – 16,4 % (STEFANOVA et al., 2013).

5.3.3 Analýza chemického složení částic (SEM+EDAX)

Vzorky tuhých znečišťujících látek z odebraných odprašků byly také analyzovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu s analyzátozem EDX a WDX. Analýza proběhla na pracovišti Institutu čistých technologií, VŠB – TU Ostrava. Analýzu provedl Dr. Ing. Dalibor Matýsek. Výsledky analýzy jsou popsány v následující tabulce 8.

Odprašek A – aglomerace (elektrostatické filtry)



Obrázek 17: částice (SEM + EDAX) z odprašku A (RACLAVSKÁ et al., 2016)

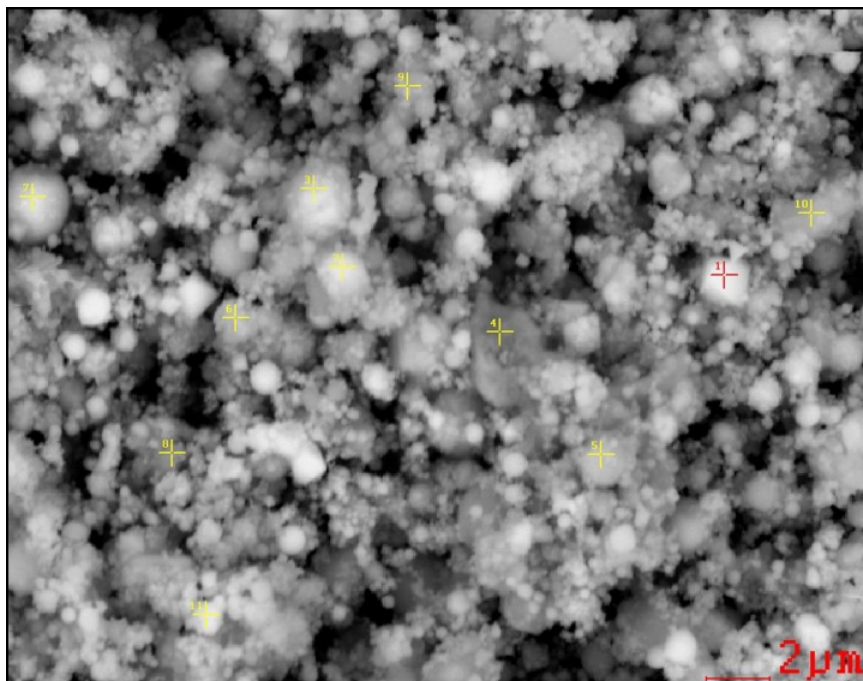
Tabulka 8: Chemická analýza částic (SEM + EDAX) z odprašku A v hm.%.

Prvek	Analyzovaná částice – odprašek A								Průměr
	1	2	3	4	5	6	7	8	
C	2,79	1,6	2,21	3,25	1,68	3,19	1,1		2,26
O	4,89	5,68	15,23	8,22	3,51	9,22	2,58	9,04	7,30
Na	6,54	6,49	7,95	8,11	7,04	8,55	6,05	10,8	7,69
Al	1,18	0,64	2,28	0,86	0,52	0,88	0,77	0,82	0,99
Pb	24,31	39,06	9,56	13,28	4,08	17,26	4,52	8,83	15,11
Cl	25,48	21,47	13,81	32,4	41,36	16,68	12,39	34,24	24,73
K	12,79	10,75	10,46	19,98	31,9	10,33	7,27	23,75	15,90
Ca	3,07	5,52	1,38	2,2	3,11	1,85	1,1	1,86	2,51
Fe	15,93	7,21	32,29	8,33	5,72	29,89	62,93	10	21,54
Cu	3,02	1,58	0,75	2,43	0,52	1,59	0,74		1,52
Mg			1,94						1,94
Si			2,13			0,52	0,45		1,03
Cr				0,28	0,19	0,03	0,11		0,15
Co								0,67	0,67

Pro odprašek z elektrostatických odlučovačů je charakteristický vyšší obsah Cu. Z chemické analýzy částic, jejíž výsledky jsou uvedeny v tabulce 8, vyplývá, že v odprašku A se nacházejí částice s vysokým obsahem Pb v rozmezí 4,08 – 39,06 %.

Odprašek E – ocelárna

Odprašky z oceláren jsou odpadem, který je typický vysokým obsahem Zn (zinkit nebo franklinit) a v případě zpracování nerezů i Cr a Ni.

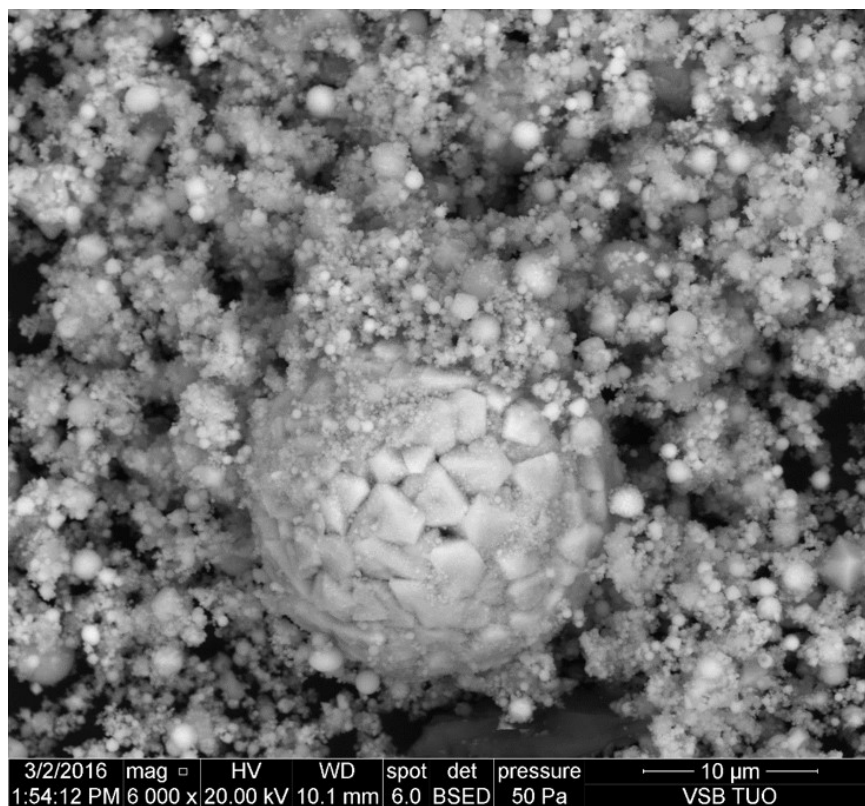


Obrázek 18: Dokumentace analyzovaných částic a charakteru vzorku E (SEM) (RACLAVSKÁ et al., 2016)

Tabulka 9: Výsledky analýzy částic provedené na SEM+EDX (hm.%)

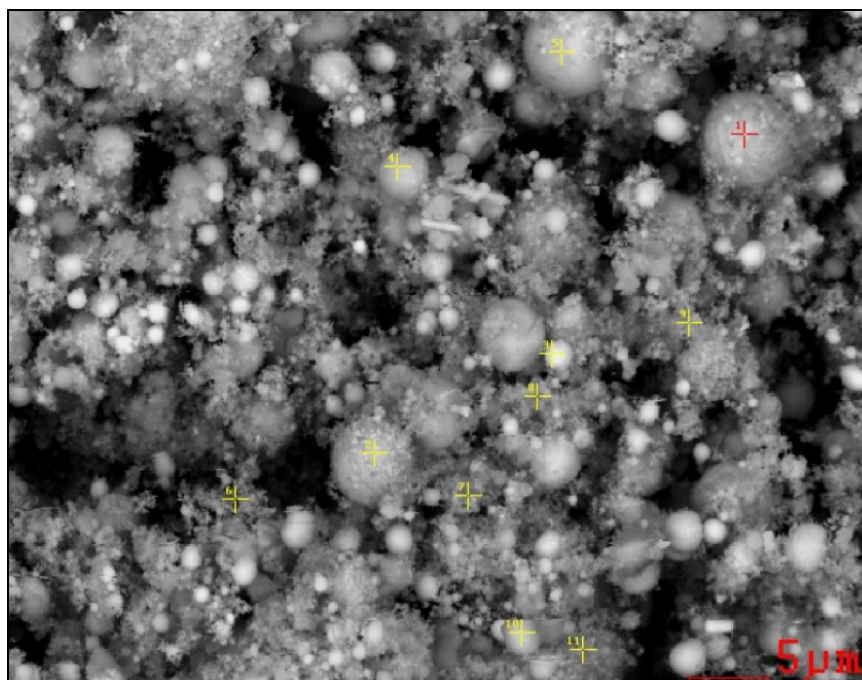
Prvek	Analyzovaná částice – odprašek E											Průměr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
C				1,69			1,16	1,01	1,91			1,44
O	30,67	28,15	33,72	32,94	31,26	31,42	18,44	16,95	32,58	33,96	30,27	29,12
Na	1,22											1,22
Mg	3,07	2,69	2,89	5,54	17,37	5,71	4,42	2,79	5,99	5,22	5,06	5,52
Al	1,08	0,97	1,00	1,43	1,45	1,29	0,85	1,00	1,45	1,49	1,25	1,21
Si	3,48	2,90	7,94	3,09	2,06	4,33	1,77	3,11	3,69	8,43	3,53	4,03
S				0,96								0,96
Cl				0,67	0,29							0,48
K	0,36			0,89	0,39	0,44	0,32	0,67	0,50	0,43	0,36	0,48
Ca	2,82	2,66	2,74	20,33	5,04		4,80	8,03	8,42	4,85	5,70	6,54
Cr	18,47	2,63	2,45	6,80	5,07	5,50	2,83	5,52	4,74	4,90	4,22	5,74
Mn	3,99	4,55	7,26	6,13	17,27	8,22	36,39	26,84	12,10	6,99	10,92	12,79
Fe	33,28	55,41	42,00	19,53								37,56
Zn	1,57											1,57
Fe							10,33					10,33

Z výsledků analýz ploch vyplývá, že magnetitu odpovídají částice 1,2 a 3. Pro Fe-částice z ocelárny je typická prvková asociace: Ni-Zn-Pb-Fe.



Obrázek 19: Částice magnetitu z odprašku pocházejícího z ocelárny (RACLAVSKÁ et al., 2016)

Odprašek H – sekundárního odprašení haly KKO (kyslíko-konvertorová ocelárna)



Obrázek 20: Dokumentace a označení analyzovaných částic pro tabulku 10 (RACLAVSKÁ et al., 2016)

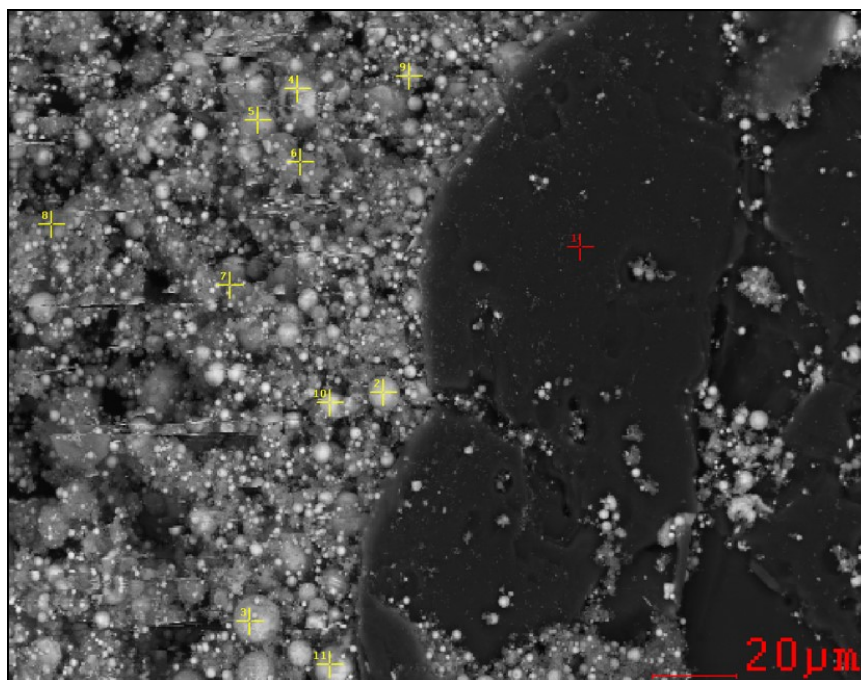
Tabulka 10: Analýza chemického složení částic (SEM-EDX) v hm.%.

Prvek	Analyzovaná částice – odprašek H											Průměr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
O	26,00	26,52	26,76	14,15	19,20	18,15	21,50	20,49	18,02	20,85	17,45	20,83
C			1,96	1,55	0,95	3,34	2,82	3,44	2,90	3,23	2,69	2,54
Na	2,67	2,13		4,72	3,32		2,18	20,46	10,66	2,65	1,46	5,58
Ca	0,54	0,53	1,34	1,48	0,63	1,86	3,99	1,52	1,90	1,76	1,17	1,52
Mg			0,34		0,29	0,50	0,44	0,40	0,39	0,44	0,48	0,41
K		0,19	0,36	0,39	0,24	0,93	0,81	0,57	0,74	0,68	0,40	0,53
Al		0,46	0,62	0,52	0,52	0,54	0,55	0,54	0,49	0,49	0,49	0,52
Si		0,30	0,57		0,24	0,92	1,06	0,78	0,73	1,17	0,63	0,71
S		0,22	0,37	0,42	0,24		0,29	0,68	0,72	0,83	0,46	0,47
Cl		0,31	0,48	0,55	0,35	1,28	0,89	0,64	0,85	0,81	0,55	0,67
Fe	68,22	66,73	52,32	71,62	71,12	54,38	46,05	49,23	51,00	50,48	60,85	58,36
Mn		0,66	0,88	0,82	0,43	1,96	3,90	1,25	1,20	1,41	0,89	1,34
Zn	2,57	1,96	14,10	3,42	2,47	15,30	14,88		10,39	15,19	12,79	9,31

Z tabulky 10 je zřejmé, že větší částice o velikosti okolo 5 μm obsahují maximálně (1,96 – 3,42 % Zn). Jedná se pravděpodobně o hematit, který obsahuje 69,94 % Fe a 30,06

% kyslíku. Částice s vyšším obsahem Zn (10–15%) tvoří magnetit. Vysoký obsah Zn v magnetitu je možný v důsledku substituce Fe^{2+} a Zn^{2+} , které mají přibližně stejný iontový poloměr (magnetit: $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), kdy Zn má 0,060 nm a Fe^{2+} má 0,063 nm (HANSSON et al., 2004).

Odprašek S – odsíření surového železa

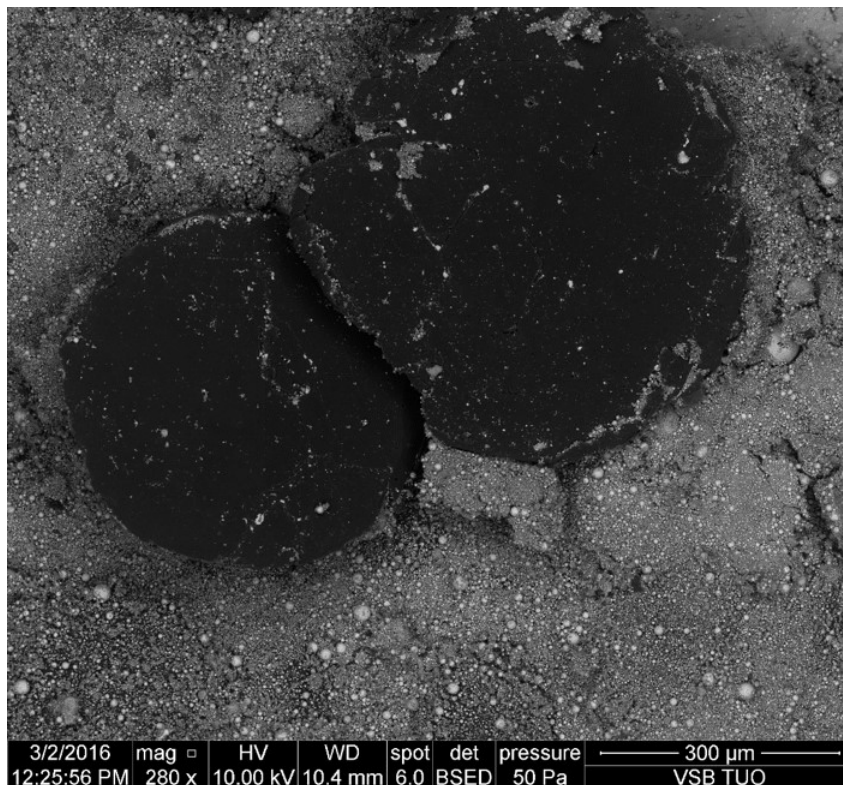


Obrázek 21: Charakteristika částic – odprašek S (RACLAVSKÁ et al., 2016)

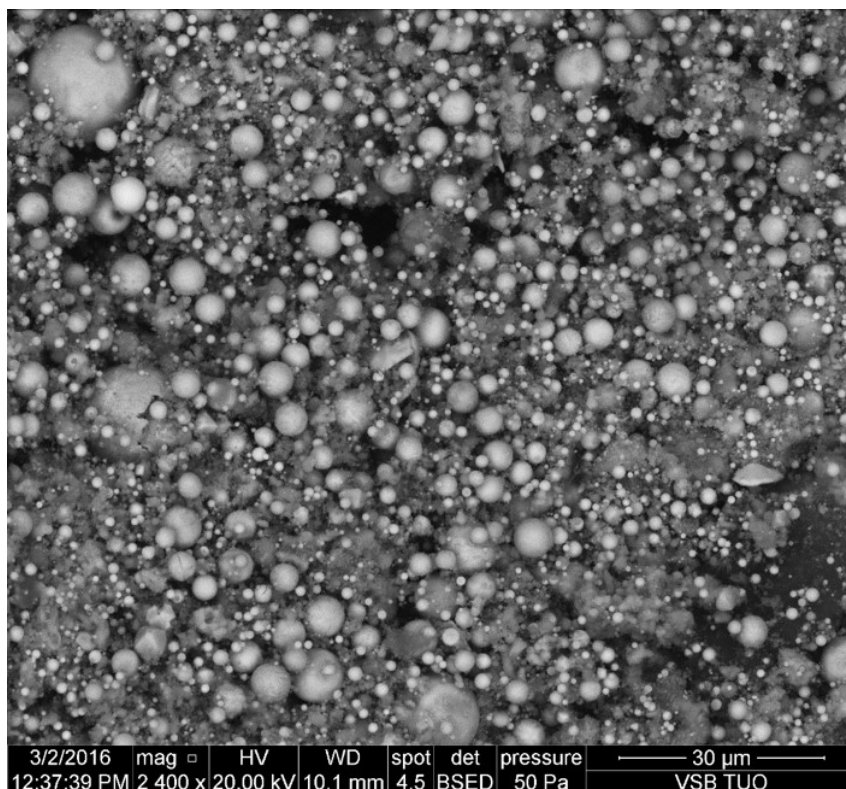
Tabulka 11: Chemická analýza částic dokumentovaných na obr. 21 v hm.%.

Prvek	Analyzovaná částice – odprašek S											Průměr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
C	84,6	8,55	6,65	4,21	4,28	4,96	5,16	11,31	5,81	7,93	6,88	13,67
O	12,22	27	19,99	30,09	31,55	22,38	19,38	16,32	13,32	17,65	21,8	21,06
Ca	0,39	0,71	1,45	1,27	1,06	44,18	5,37	5,55	3,66	2,09	0,83	6,05
Fe	2,79	61,4	61,37	57,71	57,92	14,85	52,73	53,28	62,95	64,05	67,2	50,57
Mg		0,99	3,86	2,95	1,59	3,68	6,03	4,04	2,15	1,63	0,84	2,78
Al		0,68	0,82		0,67	0,66	0,67	1,8	0,78	0,65	0,68	0,82
S		0,39	1,01	0,76	0,62	2,35	2,35	2,76	1,53	0,79	0,45	1,30
K		0,29	0,5	0,38	0,35	0,92	1,27	2,1	3,13	0,46		1,04
Na			3,42	2,64	1,98	2,82	5,78		3,32	2,23	1,33	2,94
Zn			0,93				1,26	2,85	3,36			2,10
Si						3,22				1,24		2,23
Mn										1,31		1,31
	C	Fe-O	Fe-O	Fe-O	Fe-O	Ca-Fe-O	Fe-O	Fe-O	Fe-O	Fe-O	Fe-O	

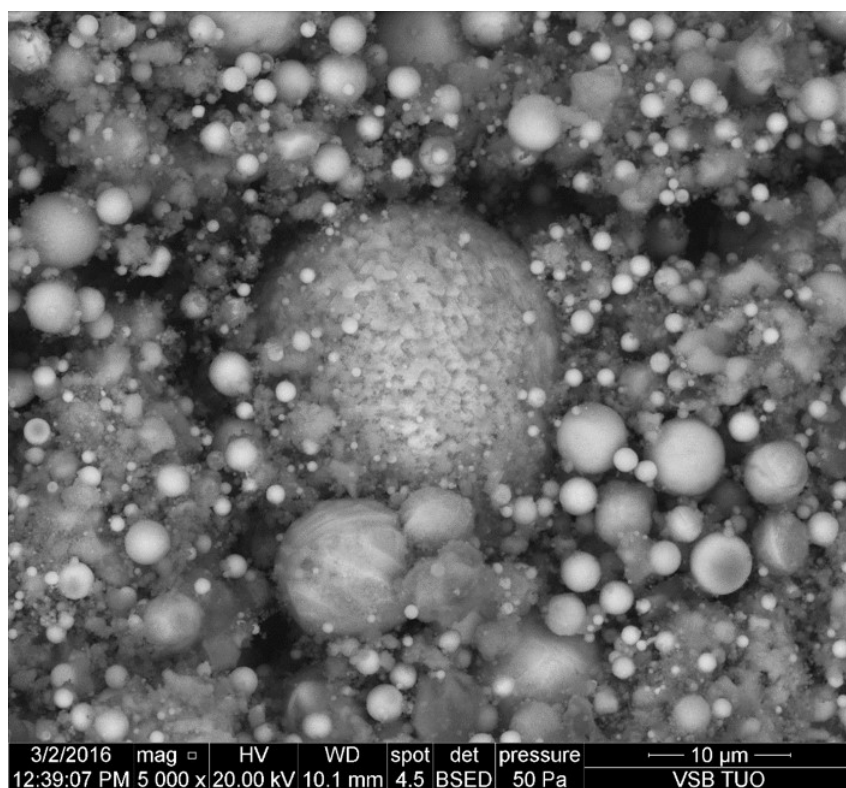
Z analýz SEM+EDAX vyplývá, že Fe-oxidické částice obsahují pouze minimální množství příměsí (Zn), s koncentračním rozsahem 0,93 – 3,36 %, Zn obsahovalo méně než 50 % analyzovaných částic.



Obrázek 22: Částice grafitu, ve které jsou inkorporovány další oxidy (Ca, Fe) (RACLAVSKÁ et al., 2016)



Obrázek 23: Fe-oxidické částice – odprašek S (RACLAVSKÁ et al., 2016)



Obrázek 24: Fe-oxidické částice – odprašek S (RACLAVSKÁ et al., 2016)

Z mineralogické fázové analýzy a z RTG-fluorescenční analýzy vyplývá, že magnetit vytváří typické prvkové asociace pro jednotlivé zdroje znečištění, které by mohly být využity jako indikátor emisní zátěže.

Z hlediska množství produkce – je největším problémem odprašek z elektrostatického odlučovače z aglomerace rud (A)

Z geochemického hlediska vyplývá, že odprašky z aglomerace rud budou vytvářet asociaci Fe x Pb, odprašky z odprašení haly kyslíko-konvertorové ocelárny budou vytvářet asociaci: Fe x Cr x Pb a odprašky z odsíření (S) a odprašky z ocelárny (E) budou vytvářet asociaci Fe x Zn.

5.4 Separace magnetické frakce z půd

V prvním kroku bylo odváženo 10 g půdního vzorku o zrnitosti <2 mm, který byl poté umístěn do Petriho misky. Z Petriho misky byla pomocí magnetu postupně vyseparována magnetická frakce, která byla umístěna vedle na filtrační papír (obrázek 25). Tento proces trval v průměru 30 minut. Následovalo přesypání magnetické frakce do předem připraveného papírového sáčku, který byl poté zvážen a byla odečtena jeho vlastní hmotnost. Výsledná hmotnost magnetické frakce půdy byla zapsána do tabulky (tabulka 12). Tento postup byl opakován i pro zbylých 29 vzorků.



Obrázek 25: Separace magnetické frakce z půd

Tabulka 12: Hmotnostní a magnetický podíl magnetické části půdních vzorků z oblasti Javorového a Ostrého

Vzorek	hmotnost vzorku (g)	hm. mag. části (g)	mag. podíl (%)	Vzorek	hmotnost vzorku (g)	hm. mag. části (g)	mag. podíl (%)
J-G 500	10	3,048	30,48	O-K 600	10	5,26	52,60
J-G 600	10,002	5,821	58,20	O-K 700	10	4,497	44,97
J-G 700	10,002	8,484	84,82	O-K 800	10	4,67	46,70
J-G 800	10,003	6,552	65,50	O-K 900	10	5,581	55,81
J-G 900	10,002	5,489	54,88	O-K 1000	10	8,826	88,26
L-J 500	10	4,205	42,05	T-O 600	10	5,845	58,45
L-J 600	10	8,226	82,26	T-O 700	10,002	3,527	35,26
L-J 700	9,999	8,511	85,12	T-O 800	10,001	4,794	47,94
L-J 800	10	8,406	84,06	T-O 900	10	7,61	76,10
L-J 900	10	0,983	9,83	T-O 1000	10	5,977	59,77
T-J 500	10,03	0,994	9,91	K-O 600	9,999	2,484	24,84
T-J 600	10	7,967	79,67	K-O 700	10,004	6,736	67,33
T-J 700	10,01	3,224	32,21	K-O 800	9,999	3,002	30,02
T-J 800	10	8,785	87,85	K-O 900	10	3,276	32,76
T-J 900	9,999	8,935	89,36	K-O 1000	10	6,607	66,07

Z tabulky 12 je patrné že největší podíl magnetické části obsahují půdní vzorky z oblasti Javorového, kde byl u 6 vzorků naměřen podíl větší než 80 %, kdežto u vzorků z oblasti Ostrého dosáhl této hodnoty pouze jediný vzorek.

5.5 Separace magnetické frakce z popela

Prvním krokem bylo odstranění organické části z půdních vzorků. To se provedlo spálením půdních vzorků v elektrické peci při teplotě 815 °C. Po spálení byly vzorky popela připraveny k další analýze. U separace magnetické frakce z popela byl zvolen totožný postup jako u separace z půdního vzorku. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 13.



Obrázek 26: Separace magnetické frakce z popela – vyseparovaná magnetická frakce vpravo

Tabulka 13: Hmotnostní a magnetický podíl magnetické části vzorků popela z oblasti Javorového a Ostrého

Vzorek	hmotnost vzorku (g)	hm. mag. části (g)	mag. podíl (%)	Vzorek	hmotnost vzorku (g)	hm. mag. části (g)	mag. podíl (%)
J-G 500	10	4,274	42,74	O-K 600	10	8,28	82,80
J-G 600	10,001	5,386	53,85	O-K 700	10	5,134	51,34
J-G 700	10	6,728	67,28	O-K 800	10	6,237	62,37
J-G 800	10	5,39	53,90	O-K 900	10	6,564	65,64
J-G 900	9,999	6,804	68,05	O-K 1000	10	9,742	97,42
L-J 500	10	5,078	50,78	T-O 600	10,001	6,799	67,98
L-J 600	10	6,429	64,29	T-O 700	10	5,792	57,92
L-J 700	10	8,682	86,82	T-O 800	10,001	5,33	53,29
L-J 800	10	8,203	82,03	T-O 900	10	9,017	90,17
L-J 900	10	0,323	3,23	T-O 1000	10	9,641	96,41
T-J 500	10,001	3,335	33,35	K-O 600	9,999	2,372	23,72
T-J 600	10	7,893	78,93	K-O 700	10	8,93	89,30
T-J 700	10	6,13	61,30	K-O 800	9,999	2,242	22,42
T-J 800	10,001	9,579	95,78	K-O 900	10,001	5,246	52,45
T-J 900	10	7,563	75,63	K-O 1000	10	6,138	61,38

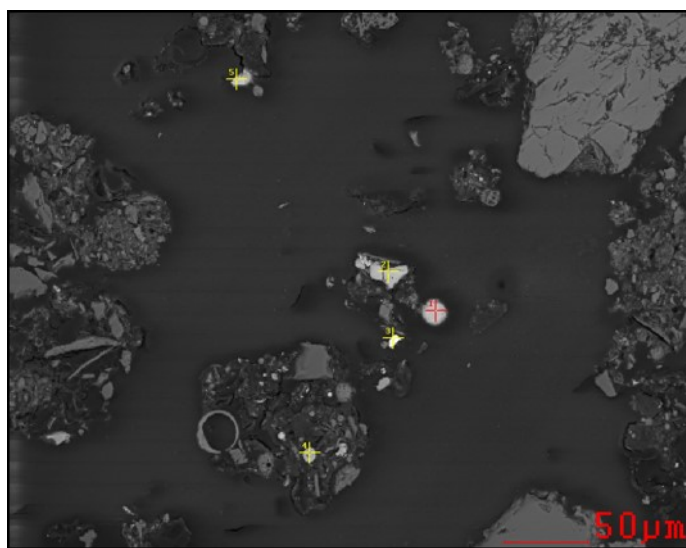
Separace magnetické části z popela byla provedena z důvodu kontrolního porovnání.

5.6 Geochemie půd a magnetická frakce

5.6.1 Mikroanalýza – SEM+EDAX

Pro zjištění charakteru magnetických částic vyseparovaných magnetem z jednotlivých půdních vzorků, byla použita metoda scanovací elektronové mikroskopie (SEM) s energeticky disperzní analýzou (EDAX) na pracovišti Institutu čistých technologií, VŠB – TU Ostrava. Analýzy byly provedeny pomocí skenovacího elektronového mikroskopu FEI Quanta 650 FEG vybaveného vlnově disperzním analyzátozem (WDX), energiově disperzním analyzátozem (EDX) a přístrojem pro difrakci zpětně odražených elektronů (EBSD). Tento přístroj umožňuje detailní chemickou, morfologickou a krystalografickou charakteristiku nejrůznějších materiálů (<http://ict.hgf.vsb.cz>). Analýzu vzorků provedl Dr. Ing. D. Matýsek.

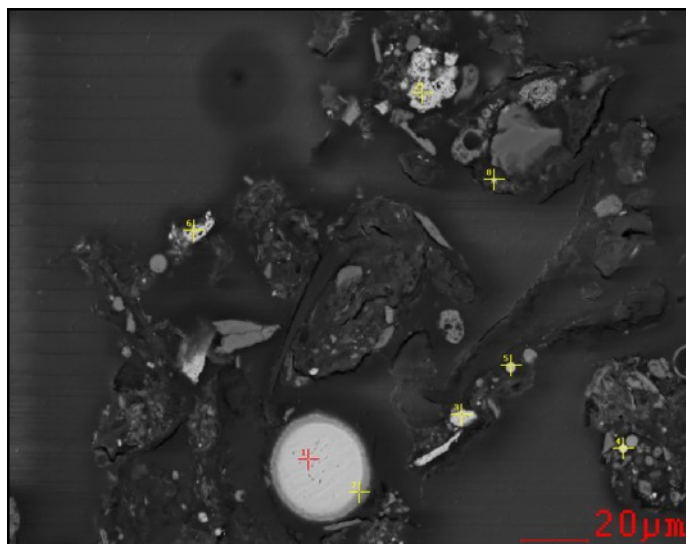
Výsledky analýz magnetických částic v půdách byly provedeny za účelem identifikace chemického složení a morfologické charakteristiky částic, která se často používá k odlišení antropogenního magnetitu a magnetitu, který je součástí horninového podloží.



Obrázek 27: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700

Tabulka 14: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%)

	1	2	5	3	4
O	26,4	29,1	24,1	20,78	26,87
Al	0,52	1,16	0,55	0,81	1,02
Si	1,69	1,76	1,27	2	2,31
Fe	71,39	67,98	74,09	1,16	57,9
S				13,12	
Ba				62,02	
Co				0,1	
Mg					10,2
Mn					1,69
Minerál	Magnetit	Magnetit	Magnetit	Baryt	Magnesioferrit

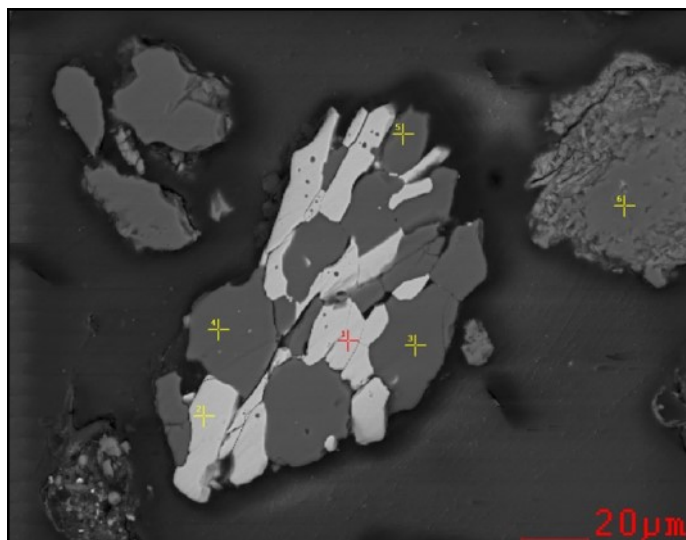


Obrázek 28: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, druhá analyzovaná plocha v nábrusu

Tabulka 15: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 2 plocha

	1	2	3	4	5	6	7	8
O	21,98	24,53	25,02	23,41	35,03	30,74	27,47	34,98
Al	0,42	0,99	0,89	1,33	3,97	0,52	0,91	2,17
Si	1,34	2,02	1,67	4,25	6,97	1,26	2,21	13,68
Fe	76,26	71,72	72,41	44,42	28,64	67,47	69,42	47,68
Mg		0,74			0,66			
Mn				1,13				1,5
Zn				25,45				
C					24,29			
K					0,45			
Minerál	Magnetit					Magnetit		

Z dokumentace analyzovaných částic na obrázku 28 je zřejmé, že magnetit vytváří sférické částice (1,7) ale i nepravidelné částice porézní struktury (2, 3, 6). Identifikace magnetitu pocházejícího z hornin na základě morfologické charakteristiky částic není v tomto případě možná.

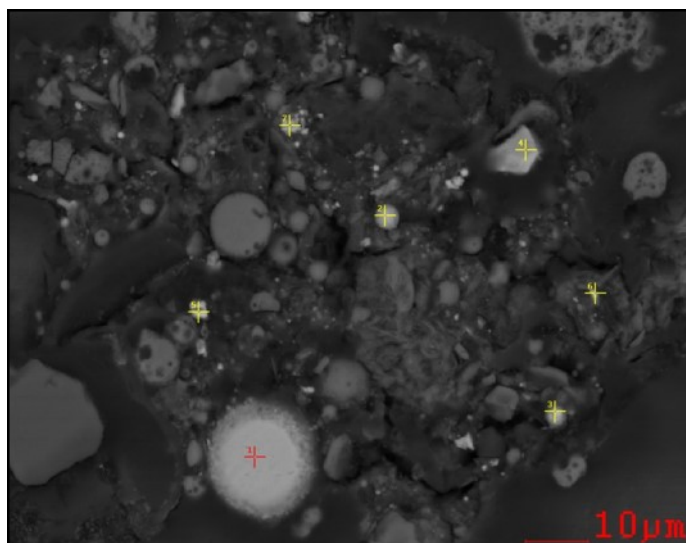


Obrázek 29: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, třetí analyzovaná plocha v nábrusu

Tabulka 16: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 3 plocha

	1	2	3	4	5	6
O	23,95	22,05	45,42	44,58	46,66	45,42
Si	3,38	2,78	54,58	55,42	53,34	54,58
Fe	72,66	75,18				
Minerál	Magnetit		Křemen			

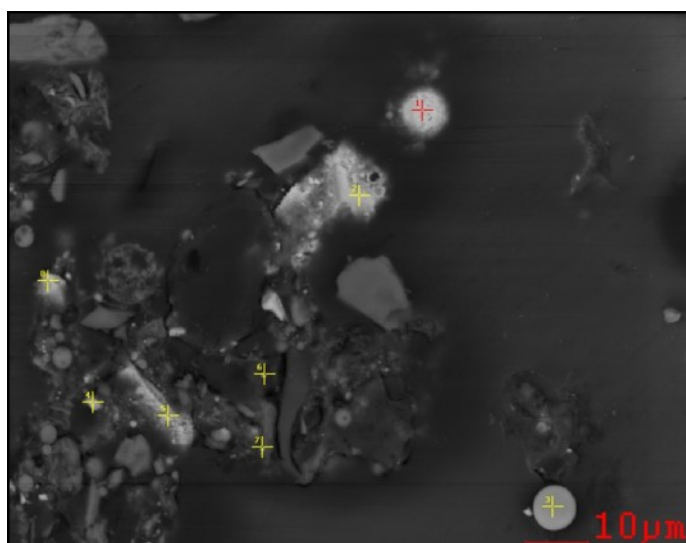
Obrázek 29 dokumentuje prorostlé částice křemene a magnetitu.



Obrázek 30: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, čtvrtá analyzovaná plocha v nábrusu

Tabulka 17: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 4 plocha

	1	2	3	4	5	6	7
O	24,71	27,3	22,5	25,51	20,14	28,32	26,99
Al	0,82	1,59	1,99		2,45	6,27	3,44
Si	1,88	2,66	3,59	2,13	3,2	9,29	3,86
Fe	72,59	68,44	71,93	72,36	72,36	54,6	60,61
Mg						0,68	4,5
S						0,27	
K						0,57	
Minerál	Magnetit						Magnesioferrit

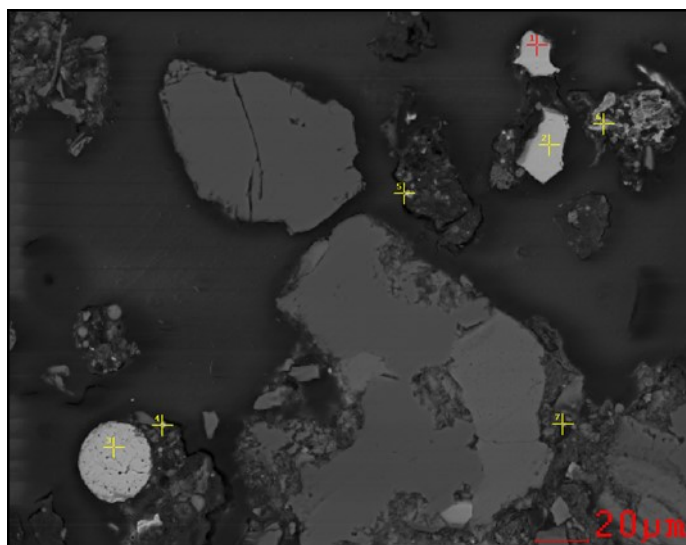


Obrázek 31: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, pátá analyzovaná plocha v nábrusu

Tabulka 18: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 5 plocha

	1	2	3	4	5	6	7	8
O	25,12	27,17	36,2	33,01	26,71	35,19	32,3	17,67
Mg	0,64		1,69		7,78	7,04	2,56	
Al	1,47	0,58	10,77	1,96	1,58	8,82	10,41	1,38
Si	2,04	1,4	16,35	3,28	2,25	17,42	22,08	2,43
Ca	0,35		0,85				0,8	
Mn	0,8		1,67		3,95	4,33		
Fe	69,58	70,84	31,99	61,75	57,73	24,51	29,08	78,51
K			0,48			1,09	2,76	
P						0,8		
S						0,81		
	Magnetit		Popílek		Spinel	Silikát		

Z výsledků analýzy 5 plochy nábrusu (tabulka 18) vyplývá, že se zde nacházejí sférické částice magnetitu (částice 1), popílku (částice 3), ostrohranné magnetické částice 5 (spinel s obsahem Mg-Mn-Fe) a částice 8. Chemické složení částic magnetitu s obsahem Al, Si dokumentují antropogenní původ magnetitu.



Obrázek 32: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, šestá analyzovaná plocha v nábrusu

Tabulka 19: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 6 plocha

	1	2	3	4	5	6	7
O	23,46	24,87	23,46	27,52	26,06	27,76	29,08
Si	1,21	2,29	2,09	6,09	6,15	2,4	10,5
Fe	75,33	72,84	73,94	64,86	65,61	42,36	56,16
Al			0,51	1,53	2,19	1,95	3,58
Mg						2,89	
Mn						22,64	
K							0,68

Z uvedených výsledků je zřejmé, že antropogenní částice magnetitu mohou mít jednak sférický, a jednak ostrohranný nebo úlomkovitý tvar. O antropogenním charakteru částic svědčí přítomnost Al, Mn, případně Si ve struktuře. I když z fotodokumentace magnetických částic odprašků vyplývá, že většina částic má sférický charakter, konečný charakter magnetických částic vyseparovaných z půd dokumentuje částice ostrohranné nebo úlomkovité, které spíše převažují nad sférickými částicemi.

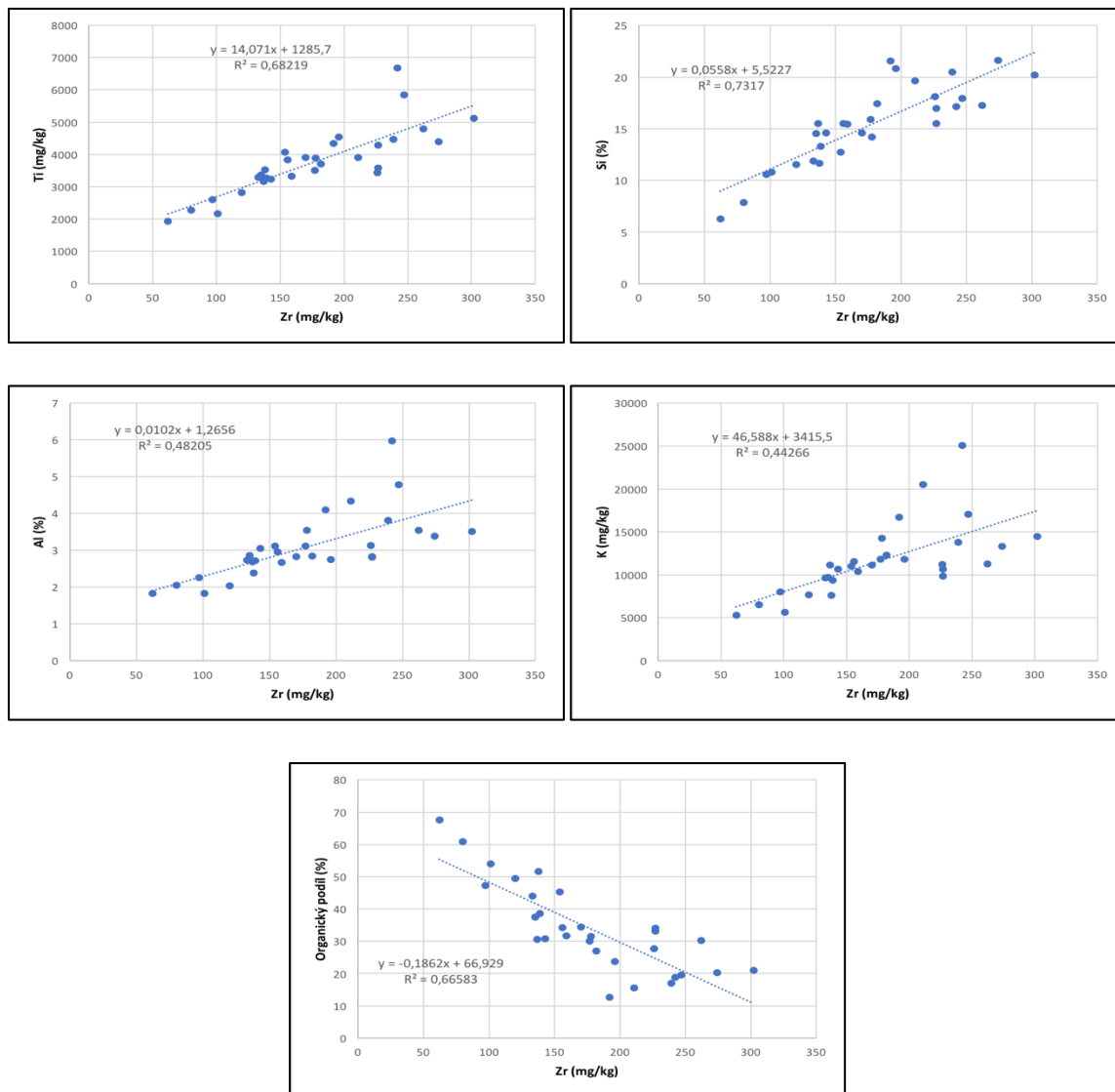
5.7 Korelační závislosti

Vztahy mezi koncentracemi rizikových prvků, magnetickou susceptibilitou byly posouzeny za použití korelační analýzy. Na obrázku 34 se nachází korelační matice ve které jsou barevně vyznačeny možné závislosti mezi jednotlivými prvky, magnetickou susceptibilitou a organickým podílem odebraných půdních vzorků.

Korelační koeficient slouží k určení relativní míry lineární závislosti dvou náhodných veličin. Pokud se hodnota korelačního koeficientu r blíží k hodnotě 1, jedná o přímou lineární závislost. Pokud se ale blíží korelační koeficient k hodnotě (-1) bude se jednat o nepřímou lineární závislost. Jestliže se ale hodnota r pohybuje okolo nuly, korelační závislost mezi veličinami neexistuje (<http://iastat.vse.cz/>).

Z výsledků koeficientu korelace mezi Zr (zirkon: ZrSiO_4) a magnetickou susceptibilitou (magnetit) vyplývá, že minerály mají odlišnou genezi (zirkon je uvolňován z podložních hornin) a magnetit je převážně antropogenního původu. Zirkonium poskytuje významné korelace s dalšími prvky, které jsou součástí silikátů, případně tzv. těžkých minerálů (Ti, Si, Al, K) (obrázek 33). Nepřímo úměrná závislost byla zjištěna i mezi Zr a obsahem organických látek v půdách ($r = -0,81$) (obrázek 33). Vzhledem k tomu, že Zr

neposkytuje žádné statisticky významné závislosti s rizikovými prvky, lze předpokládat, že pochází z antropogenní činnosti a nejsou důsledkem zvětrávacích procesů v podložních horninách.



Obrázek 33: Grafy lineárních závislostí mezi Zr a těžkými minerály (Ti, Si, Al, K), organickým podílem v půdách

	$\chi \cdot LF (10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	Si (%)	Al (%)	Fe (%)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	P (mg/kg)	S (mg/kg)	Ti (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Rb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Zr (mg/kg)	Ag (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Sn (mg/kg)	Sb (mg/kg)	W (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Th (mg/kg)	Organický podíl (%)
$\chi \cdot LF (10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	1																									
Si (%)	-0,8087	1																								
Al (%)	-0,5743	0,6422	1																							
Fe (%)	0,8940	-0,6959	-0,1960	1																						
K (mg/kg)	-0,6515	0,6855	0,9616	-0,3206	1																					
Ca (mg/kg)	-0,2181	0,1279	0,0491	-0,2216	0,0127	1																				
P (mg/kg)	-0,1306	0,1873	0,3619	0,0557	0,3290	0,0710	1																			
S (mg/kg)	0,8510	-0,9244	-0,8403	0,6102	-0,8590	-0,1363	-0,2307	1																		
Ti (mg/kg)	-0,6587	0,7030	0,8807	-0,3791	0,8316	-0,0105	0,2431	-0,8396	1																	
Cr (mg/kg)	0,1298	0,1616	0,6238	0,4433	0,5293	0,1070	0,3676	-0,2875	0,4712	1																
Mn (mg/kg)	0,3174	-0,1665	-0,0403	0,3389	-0,1394	0,8002	0,0566	0,1744	-0,1884	0,4152	1															
Ni (mg/kg)	-0,0349	0,1008	0,6531	0,2612	0,6216	0,0688	0,0046	-0,3125	0,4615	0,7891	0,2400	1														
Cu (mg/kg)	0,9002	-0,8373	-0,4731	0,8608	-0,5441	-0,1248	-0,0520	0,8229	-0,5921	0,1874	0,3610	0,1398	1													
Zn (mg/kg)	0,8838	-0,8347	-0,4758	0,8339	-0,5608	0,0366	-0,0204	0,8042	-0,5628	0,2432	0,4674	0,1535	0,9222	1												
As (mg/kg)	0,8647	-0,7605	-0,3495	0,8916	-0,4503	-0,3242	-0,0309	0,7117	-0,4315	0,1813	0,1784	0,1216	0,8949	0,8103	1											
Rb (mg/kg)	-0,4729	0,4795	0,9475	-0,0879	0,9163	-0,0356	0,3377	-0,7233	0,8445	0,6206	-0,1087	0,6736	-0,3851	-0,3682	-0,2118	1										
Sr (mg/kg)	-0,4718	0,5506	0,6919	-0,2470	0,6332	0,6859	0,2067	-0,6425	0,6242	0,5662	0,5674	0,4911	-0,3729	-0,2650	-0,4005	0,6055	1									
Zr (mg/kg)	-0,7435	0,8554	0,6943	-0,5463	0,6653	0,0593	0,1845	-0,8597	0,8259	0,2819	-0,1744	0,1218	-0,7131	-0,6826	-0,6006	0,5659	0,5844	1								
Ag (mg/kg)	0,1532	-0,6147	-0,6730	0,0418	-0,6130	-0,0677	-0,1922	0,5565	-0,5813	-0,5643	-0,1459	-0,0540	0,2979	0,2928	0,2121	-0,5477	-0,4288	-0,5545	1							
Cd (mg/kg)	0,4757	-0,6696	-0,7854	0,3437	-0,7319	0,5989	-0,4174	0,6790	-0,6977	-0,4502	0,2911	0,0547	0,4395	0,3538	0,2739	-0,6148	-0,7229	-0,7108	0,8357	1						
Sn (mg/kg)	0,1518	-0,0001	0,2589	0,4607	0,2644	-0,0874	0,6201	-0,1143	0,1171	0,5740	0,2557	0,7326	0,1514	0,3118	0,3192	0,3459	0,4096	-0,0008	0,0988	-0,1923	1					
Sb (mg/kg)	0,4924	-0,2485	-0,4107	0,3739	-0,4169	0,1433	-0,0489	0,3955	-0,4911	-0,1612	0,4917	-0,1896	0,5099	0,3189	0,4530	-0,4424	-0,4163	-0,3443	-0,1442	-0,1193	-0,0280	1				
W (mg/kg)	0,7090	-0,7547	-0,4855	0,6363	-0,5756	0,2319	0,2254	0,7877	-0,6213	0,4119	0,6300	0,6503	0,8147	0,9066	0,6325	-0,4250	-0,3822	-0,6273	0,2745	0,1033	0,5549	0,2249	1			
Pb (mg/kg)	0,8327	-0,8697	-0,6075	0,7167	-0,6665	-0,1642	-0,0791	0,8769	-0,6574	-0,0734	0,2059	-0,0097	0,9175	0,8901	0,8481	-0,5110	-0,5221	-0,7398	0,4885	0,4404	0,1050	0,4269	0,8394	1		
Th (mg/kg)	-0,7433	0,6701	0,8038	-0,4880	0,8092	-0,0631	0,0570	-0,8170	0,8660	0,2757	-0,3037	0,3568	-0,6653	-0,6508	-0,5374	0,7597	0,5130	0,7823	-0,2647	-0,5386	-0,0653	-0,5139	-0,7093	-0,6974	1	
Organický podíl (%)	0,7512	-0,9540	-0,7772	0,5531	-0,8171	-0,1245	-0,3046	0,9450	-0,7549	-0,3388	0,1151	-0,2499	0,7697	0,7773	0,6657	-0,6551	-0,6284	-0,8160	0,7062	0,6999	-0,1444	0,2266	0,6972	0,8570	-0,6799	1

Obrázek 34: Korelační analýza měřených prvků a magnetické susceptibilitě v půdách (průkazné závislosti jsou barevně vyznačeny)

6 MAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA PŮD

Magnetická susceptibilita je nejjednodušší měřitelným parametrem z magnetických vlastností materiálů. Tento parametr hodnotí odezvu materiálu na vnější magnetické pole. To znamená, jak silně je materiál přitahován nebo odpuzován do vnějšího magnetického pole, respektive jak je v magnetickém poli zmagnetizován. Magnetická hodnota může být buďto kladná (paramagnetické materiály) anebo záporná (diamagnetické materiály). Paramagnetické materiály se dále dělí podle vlastních hodnot magnetické susceptibility a vlivu teploty na hodnoty magnetické susceptibility na ferimagnetické, feromagnetické, paramagnetické a antiferomagnetické (MATÝSEK et al., 2008).

Přítomnost ferimagnetických minerálních látek v emisích a nízká úroveň magnetického pozadí jsou hlavní parametry pro použití magnetické susceptibility k sledování prachového znečištění půd (MATÝSEK et al., 2008).

Závislost magnetické susceptibility na koncentraci toxických kovů je významnější u povrchových vrstev lesních půd, protože k hromadění feromagnetik dochází hlavně v subhorizontech O_f / O_h (STRZYŚCZ, MAGIERA, 1998; KAPIČKA et al., 2003).

Objemová magnetická susceptibilita κ , měřena v bezrozměrných jednotkách (jednotky SI) je definována jako poměr magnetizace vzorku J ($A \cdot m^{-1}$) k externímu magnetickému poli H ($A \cdot m^{-1}$):

$$\kappa = J / H$$

Hmotnostní magnetická susceptibilita je definována jako:

$$\chi = \kappa / \rho,$$

kde ρ je hustota materiálu. Hodnota hmotnostní magnetické susceptibility je měřena v $m^3 \cdot kg^{-1}$.

Měření objemové magnetické susceptibility nebo hmotnostní magnetické susceptibility má mnoho aplikací pro půdy. Kromě paleomagnetických a paleogeografických studií, je magnetická susceptibilita také používána pro sledování kvartérních klimatických změn, posouzení eroze půdy, studii vývoje půdotvorných procesů, ale především ke zmapování kontaminace půd znečišťujícími látkami v ovzduší, a také k

určení vztahu mezi magnetickou susceptibilitou půd a koncentracemi jiných znečišťujících látek (MATÝSEK et al., 2008).

6.1 Výsledky měření magnetické susceptibility

U všech 30 vzorků byla nejdříve naměřena objemová magnetická susceptibilita (κ -LF), ze které byla později pomocí vzorce vypočtena hmotnostní magnetická susceptibilita (χ -LF). Výsledky měření magnetické susceptibility u zkoumaných vzorků se nachází v následující tabulce 20.

Tabulka 20: Hmotnostní a magnetická susceptibilita půdních vzorků

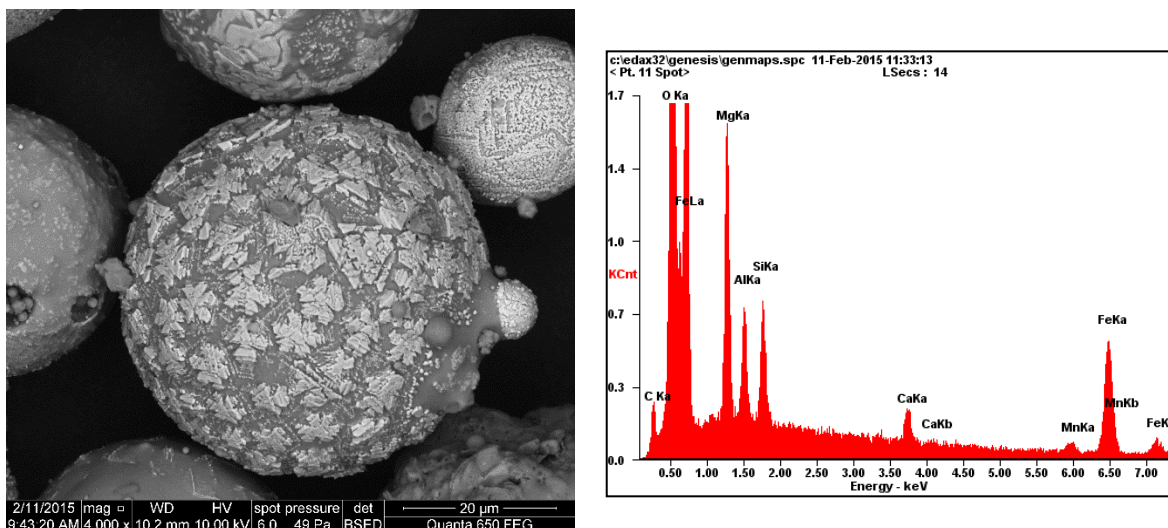
Vzorek	χ -LF $10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	κ -LF $10^{-5} \text{ J} \cdot \text{SI}$	Vzorek	χ -LF $10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	κ -LF $10^{-5} \text{ J} \cdot \text{SI}$
J-G 500	2,082	164,8	O-K 600	6,538	333,1
J-G 600	9,054	564,8	O-K 700	3,973	257,6
J-G 700	13,814	749,9	O-K 800	4,995	354,5
J-G 800	7,279	485,3	O-K 900	5,763	314,1
J-G 900	5,373	282,4	O-K 1000	14,485	639,3
L-J 500	3,886	251,8	T-O 600	6,572	363,9
L-J 600	9,980	569,9	T-O 700	6,214	332,8
L-J 700	14,801	876	T-O 800	5,339	321,8
L-J 800	12,347	614	T-O 900	12,118	525,3
L-J 900	1,024	80,3	T-O 1000	9,842	470,8
T-J 500	1,463	123,3	K-O 600	2,325	153,6
T-J 600	10,844	413,1	K-O 700	7,799	367,9
T-J 700	3,335	200,5	K-O 800	2,182	132,3
T-J 800	11,744	460,3	K-O 900	3,678	213,3
T-J 900	11,555	606,7	K-O 1000	8,572	363,7

Při vyhodnocování hodnot magnetické susceptibility byly naměřené hodnoty MS z oblastí Javorového a Ostrého srovnány s hodnotami magnetické susceptibility naměřených pro 1172 vzorků lesních půd v Beskydech (MATÝSEK et al., 2008) a s hodnotami vzorků sedimentů odebraných z oblasti toku Olše (KOHUT, 2016), které jsou uvedeny v tabulce 21 na další stránce.

Tabulka 21: Hodnoty magnetické susceptibility ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) pro Beskydy, část povodí Olše a oblast Javorového a Ostrého

	Beskydy – Matýsek	Olše – Kohut	Javorový	Ostrý
Směrodatná odchylka	4,41	0,83	4,55	3,33
Minimum	0,57	0,15	1,02	2,18
Maximum	37,52	2,96	14,80	14,49
Medián	3,28	0,90	9,05	6,21
Aritmetický průměr	4,64	1,06	7,91	6,69

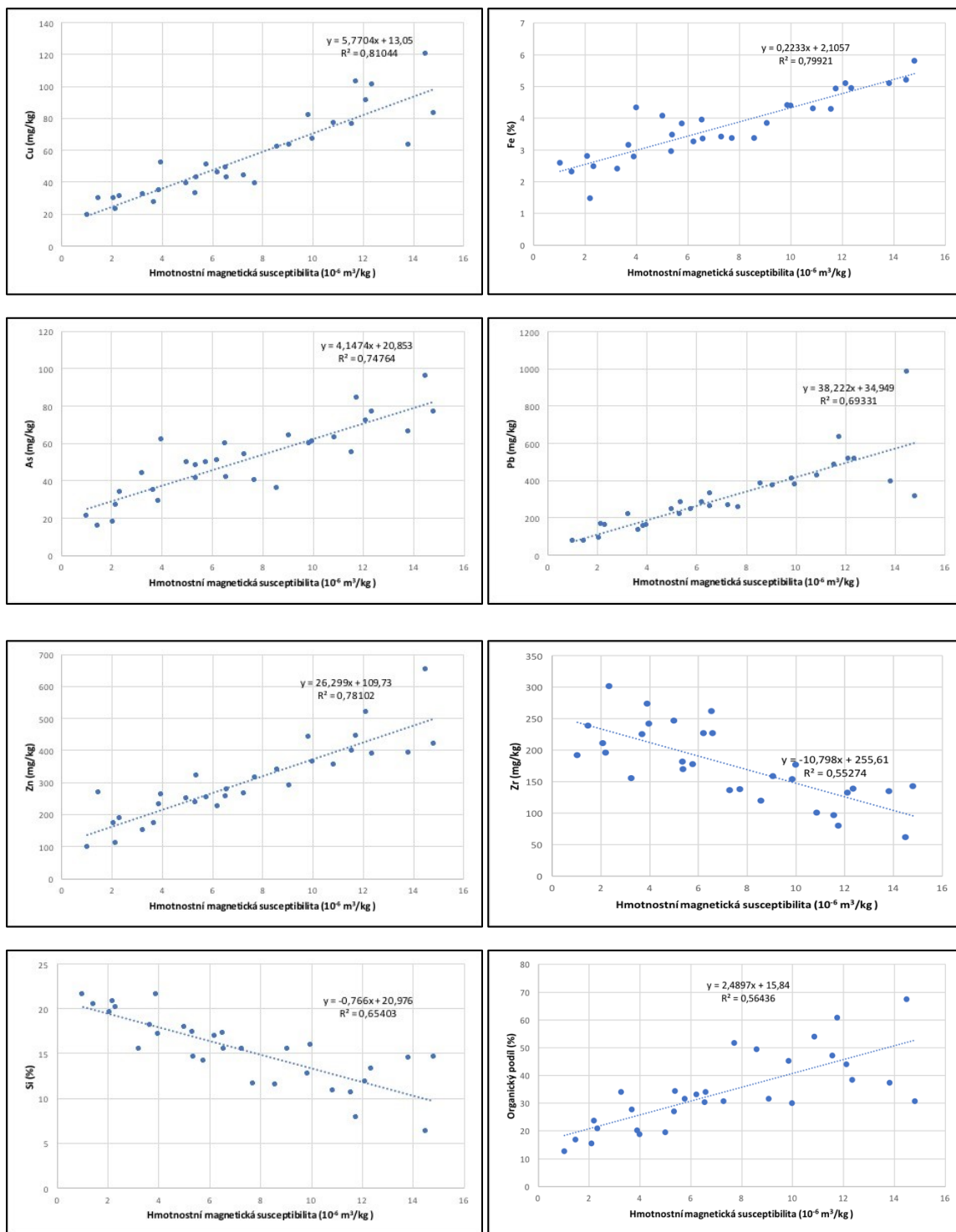
Ze srovnání z tabulky nám vychází že v oblasti Javorového a Ostrého jsou průměrné hodnoty magnetické susceptibility lesních půd vyšší než průměrné hodnoty z oblastí Beskyd (MATÝSEK et al., 2008) a z části povodí Olše (KOHUT, 2016), z čehož vyplývá že oblasti v okolí Třinecka vykazují nejvyšší hodnoty kontaminace půd i magnetické susceptibility.



Obrázek 35: Charakter magnetické částice ze spalování fosilních paliv včetně spektra (SEM-EDAX), autor Dr. Ing. Dalibor Matýsek

6.2 Závislost mezi magnetickou susceptibilitou a prvky

Lineární regresní analýzou byla v odebraných půdních vzorcích prokázána statisticky významná hodnota koeficientu korelace mezi magnetickou susceptibilitou a několika prvky (Cu, Fe, As, Pb, Zn, Fe, Si) a organickým podílem. Tato závislost je rovněž zobrazena v grafech lineárních závislosti mezi hmotnostní magnetickou susceptibilitou a Cu, Fe, As, Pb, Zn, Fe, Si a obsahem organických látek v půdách (obrázek 36).



Obrázek 36: Grafy závislosti mezi hmotnostní magnetickou susceptibilitou a Cu, Fe, As, Pb, Zn, Zr, Si a obsahem organických látek v půdách

Z obrázku 36 vyplývá, že existují statisticky významné závislosti mezi obsahem Fe, magnetickou susceptibilitou a obsahem Cu, Pb, As a Zn.

7 VYHODNOCENÍ

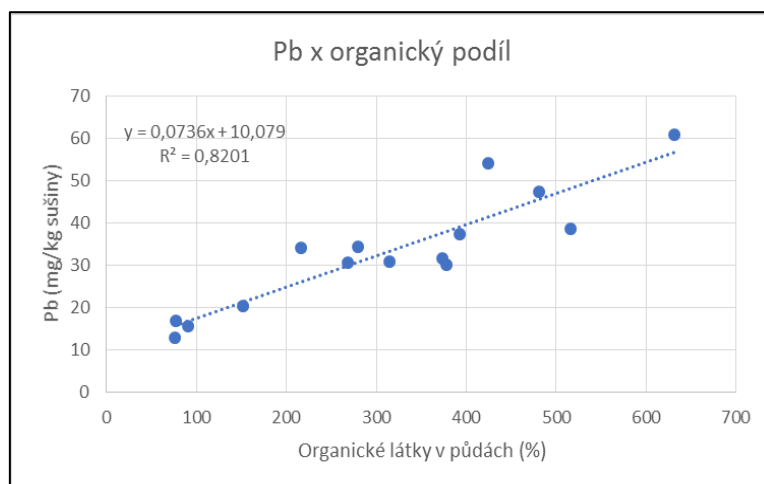
Pro určení geneze částic magnetitu byly připraveny nábrusy, které byly získány z magnetické frakce půd. Pro přípravu magnetické frakce jsem použil 2 druhy magnetů, které se lišily silou magnetizace. Prvním magnetem se celý vzorek převedl do magnetické frakce, a druhý magnet se slabší magnetickou silou byl použit pro přípravu vzorků.

Tabulka 22: Porovnání obsahu Fe v původním vzorku a magnetické frakci (mg/kg)

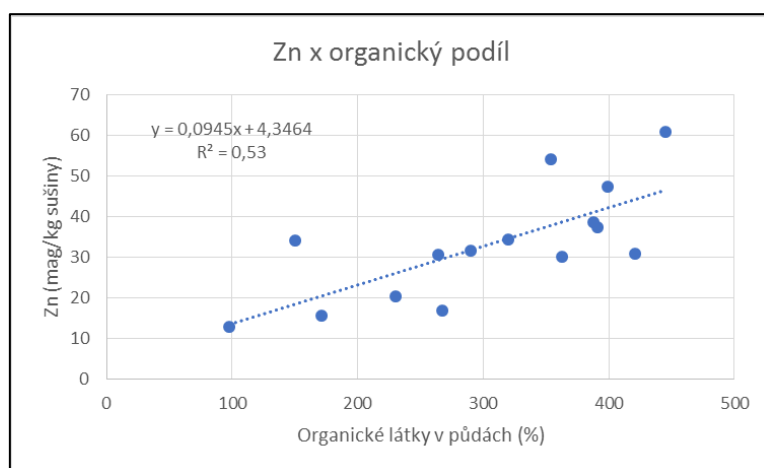
Vzorek	Fe	Fe – MAG	Vzorek	Fe	Fe – MAG
J-G 500	23178	41639	O-K 600	24879	50889
J-G 600	43151	55874	O-K 700	33803	49025
J-G 700	24141	61755	O-K 800	14798	55088
J-G 800	49358	48362	O-K 900	31622	52481
J-G 900	42908	46066	O-K 1000	33824	48796
L-J 500	27978	37498	T-O 600	33694	41132
L-J 600	44094	61640	T-O 700	32769	54267
L-J 700	58194	41922	T-O 800	29662	71041
L-J 800	49626	60654	T-O 900	51084	61381
L-J 900	26007	52279	T-O 1000	44173	58060
T-J 500	28113	46562	K-O 600	39588	42289
T-J 600	38600	61524	K-O 700	43444	45174
T-J 700	51134	42788	K-O 800	40837	31479
T-J 800	34165	64110	K-O 900	38300	48582
T-J 900	34805	65579	K-O 1000	52225	48797

Z tabulky 22 vyplývá, že nedošlo k výraznému nabohacení Fe – v magnetické frakci, což vyplývá i z výsledků studia magnetické frakce v elektronovém mikroskopu (Quanta, FEI, USA) s energiově disperzním analyzátozem (EDX). Podrobnější výsledky jsou uvedeny v podkapitole 5.6.1 mikroanalýza (SEM+EDAX).

Z výsledků získaných energiově disperzním analyzátozem vyplývá, že magnetické částice reprezentují téměř vždy čistý – stechiometrický magnetit. Jak vyplývá z analýzy částic odprašků a z mineralogického rozboru odprašků fáze s obsahem Pb tvoří samostatné minerály, stejně tak i fáze s obsahem Zn. Jejich produkce je společná, ale nestávají se součástí struktury magnetitu ani spinelu. Vzhledem k tomu, že většina těchto částic (odprašky) má střední velikost zrna okolo 2 μm jsou špatně identifikovatelné i tou nejmodernější technikou (SEM + EDX) a jejich přítomnost vyplývá jen ze zvýšeného obsahu, který byl určen metodou RTG-fluorescence a metodou měření magnetické susceptibility.

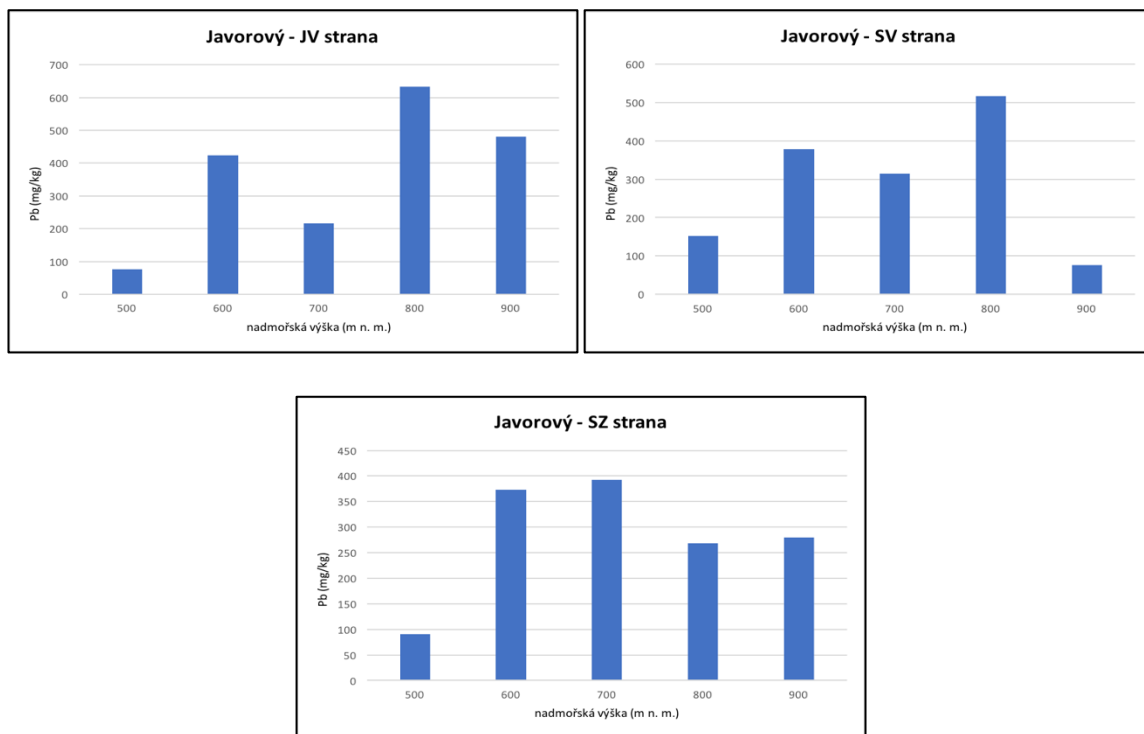


Obrázek 37: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Pb (Javorový)

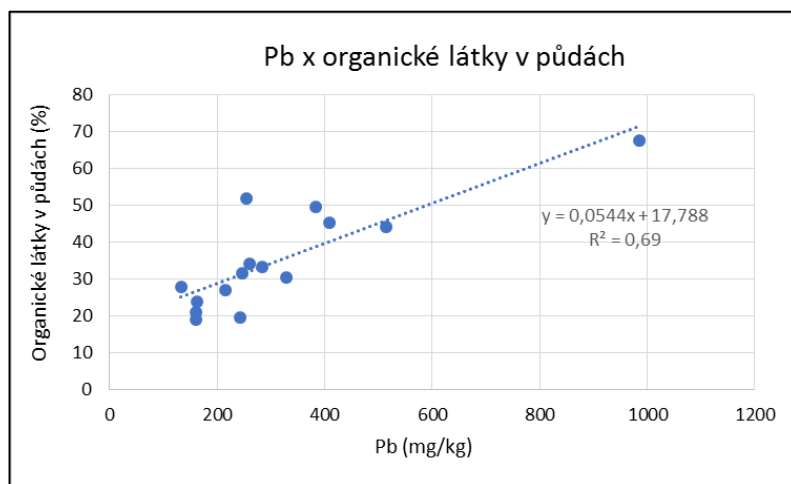


Obrázek 38: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Zn (Javorový)

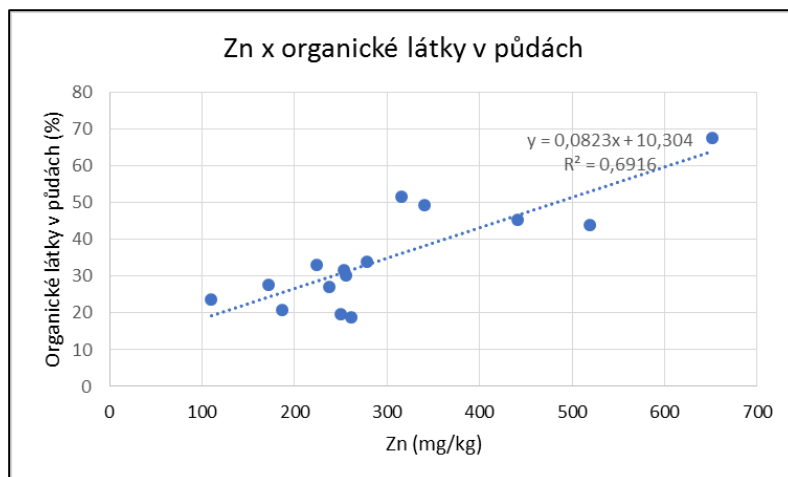
Stejně jako v případě magnetické susceptibility byla prokázána statisticky významná závislost mezi obsahem Pb, Zn a obsahem organické složky v půdách. Pro Javorový nebyla prokázána závislost mezi nadmořskou výškou a obsahem rizikových prvků, ani magnetické susceptibility a Fe. Koncentrace Pb, Zn a Fe v půdách souvisí s množstvím organických látek v půdách, které jsou ovlivněny hustotou a charakterem lesního porostu v oblasti.



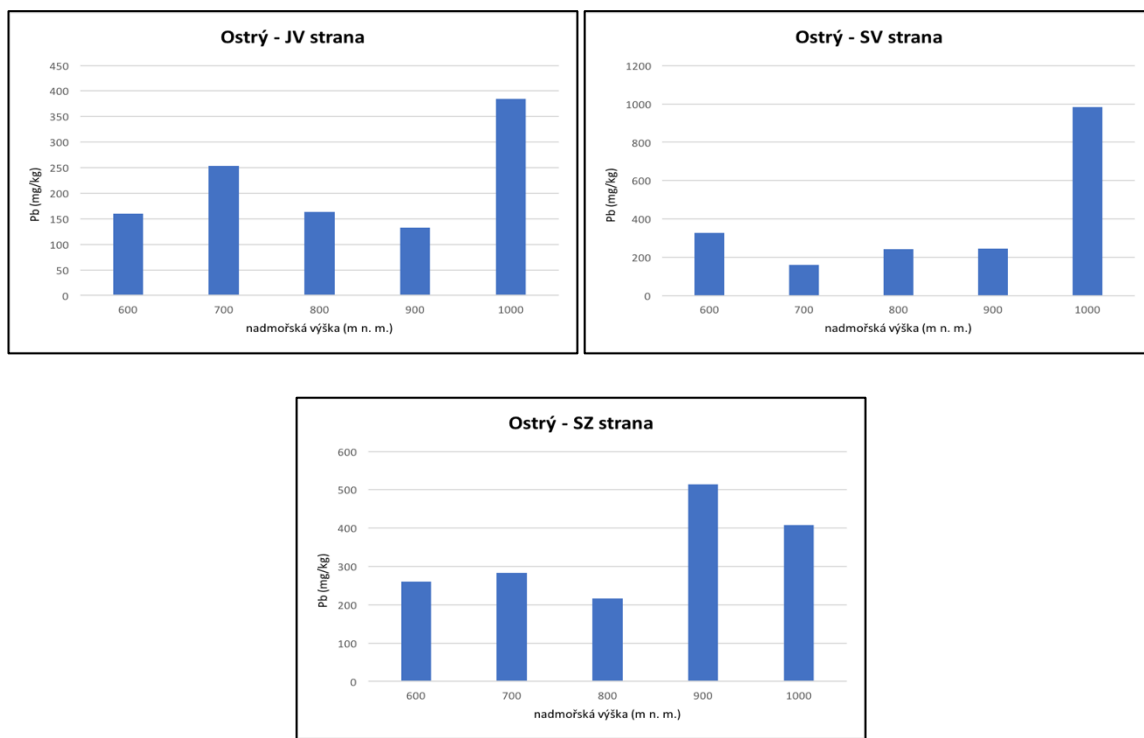
Obrázek 39: Koncentrace Pb v půdách odebraných v závislosti na nadmořské výšce (Javorový)



Obrázek 40: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Pb (Ostrý)



Obrázek 41: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Zn (Ostrý)



Obrázek 42: Koncentrace Pb v půdách odebraných v závislosti na nadmořské výšce (Ostrý)

Z výsledků vyplývá, že v půdách odebraných na svahu Ostrého, platí stejně jako u Javorového, že rizikové prvky Pb a Zn vykazují statisticky významnou závislost na obsahu organických látek v půdách. Statisticky významná závislost mezi obsahem prvku na nadmořské výšce nebyla prokázána. U vrchu ostrého se projevuje trend nejvyšší koncentrace vrcholové části.

8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo prokázat původ magnetických částic v imisích z oblasti Moravskoslezských Beskyd. Měřením bylo prokázáno několik skutečností.

- Magnetit i magnetická susceptibilita vykazuje statisticky významnou závislost s obsahem organické složky v půdách ($r = 0,75$), což dokumentuje záchyt těchto částic vegetací a jejich následnou depozici do humusového horizontu.
- Nepřímo úměrná závislost mezi obsahem Zr a Fe, případně magnetické susceptibility také podporuje předchozí závěr, že přítomnost zirkonu souvisí s jeho uvolňováním při zvětrávání podložních hornin, zatímco magnetit pochází převážně z antropogenní činnosti. V případě přirozeného výskytu obou minerálů by existovala přímo úměrná závislost, neboť oba minerály společně tvoří frakci tzv. “těžkých minerálů” v půdách.
- Rizikové prvky (Pb, Zn, As, Cu) nejsou součástí struktury magnetitu ani minerálů ze skupiny spinelů, v odprašcích tvoří samostatné minerály a jsou tak distribuovány společně s mikročásticemi magnetitu, ale nejsou jeho součástí.
- Z výsledků hodnoty koeficientu korelace ($r = 0,83$) mezi magnetickou susceptibilitou a obsahem Pb v půdách vyplývá, že hlavním zdrojem imisní zátěže v lesních půdách zkoumané oblasti je aglomerace, kde byl v odprašcích prokázán výskyt Pb-minerálů.
- Dále byla prokázána statisticky významná korelace mezi Pb x Cu ($r = 0,91$). Cu se také vyskytuje ve vyšší koncentraci v odprašcích z aglomerace (cca 625 mg/kg), navíc vykazuje podobné chování jako Pb v půdách – vysoká afinita k organické složce půd.
- Hodnoty magnetické susceptibility humusového horizontu lesních půd v oblasti Javorového a Ostrého jsou výrazně vyšší než průměrné hodnoty zjištěné pro oblast Beskyd a pro oblast sedimentů říčního toku Olše (průměrná hodnota pro oblast Javorového je $7,91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, pro Ostrý 6,69, pro oblast Beskyd 4,64 a pro oblast říčního toku Olše 1,06).
- V lesních půdách byla prokázána statisticky významná závislost mezi obsahem organických látek a Pb, Zn, magnetickou susceptibilitou a Fe. Tyto závislosti také

potvrzují záchyt imisí vegetací a jejich akumulaci v organickém horizontu lesních půd.

- U Javorového ani u Ostrého nebyla prokázána závislost obsahu kovů v lesních půdách na nadmořské výšce. Nejnižší koncentrace kovů se vyskytovaly v nadmořské výšce 700 m u Javorového a nejvyššího koncentrace kovů byly zjištěny ve vrcholové oblasti Ostrého (1000 m n. m.). Tyto výsledky nejsou v souladu s předchozími zjištěními Matýsek et al. (2008), kteří prokázali závislost obsahu kovů na nadmořské výšce v lesních půdách v Beskydech.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

BLAHA, U., B. SAPKOTA, E. APPEL, H. STANJEK a W. ROSLER. Micro-scale grain-size analysis and magnetic properties of coal-fired power plant fly ash and its relevance for environmental magnetic pollution studies. *Atmospheric Environment*. 2008, **42**(36), 8359-8370. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.051. ISSN 13522310.

BOYKO, Tetyana, Robert SCHOLGER a Helge STANJEK. Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring: repeatability of in situ measurements. *Journal of Applied Geophysics*. 2004, **55**(3-4), 249-259. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2004.01.002. ISSN 09269851.

CERVI, Eduardo Cimino, Antonio Carlos Saraiva DA COSTA a Ivan Granemann DE SOUZA JUNIOR. Magnetic susceptibility and the spatial variability of heavy metals in soils developed on basalt. *Journal of Applied Geophysics*. 2014, **111**, 377-383. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2014.10.024. ISSN 09269851.

ČSN ISO 11464: 2006, *Kvalita půdy – Úprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů*, červen 2011.

ČSN ISO 19258:2005, *Kvalita půdy – Návod pro stanovení hodnot pozadí*. In: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, leden 2012.

ČTYROKÝ, P., STRÁNÍK, Z. Zpráva pracovní skupiny české stratigrafické komise o regionálním dělení Západních Karpat. *Věstník Českého geologického ústavu (Bulletin of the Czech Geological Survey)*, 1995, Praha, Roč. 70, č. 3, s. 67-72. ISSN 0042-4730

DE LIMA E. S., DE SOUZA MORAES, A. Trace metals geochemical background in soil in the Suape Port and Industrial Complex, Pernambuco Brazil. *The Sustainable City IX*, Vol. 2. 2014. p. 1721-1730.

DEARING, John Alfred. Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System. 1994, 54 p., Dostupné z: http://gmw.com/magnetic_properties/pdf/Om0409%20J_Dearing_Handbook_iss7.pdf

EVANS, Michael a Friedrich HELLER. *Environmental magnetism principles and applications of enviromagnetics*. Amsterdam: Academic Press, 2003. ISBN 9780080505787.

FEČKO, Peter, Mária KUŠNIEROVÁ, Barbora LYČKOVÁ, Vladimír ČÁBLÍK a Adriana FARKAŠOVÁ. *Popílky*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0327-5.

HANSSON, R., HAYES, P.C., and JAK, E. Phase equilibria in the Fe-Zn-O system at conditions relevant to zinc sintering and smelting. *VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2004, 209-214.

HAUPTMAN, I., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K. *Půda v České republice*. MŽP ČR, Finidr Český Těšín, 2009. 1-255, ISBN 80-903482-4-6.

HOFFMANN, V., M. KNAB a E. APPEL. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. *Journal of Geochemical Exploration*. 1999, **66**(1-2), 313-326. DOI: 10.1016/S0375-6742(99)00014-X. ISSN 03756742.

KANTOR, P. *Imisní zátěž lesních půd v Moravskoslezských Beskydech*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB-TUO Hornicko-geologická fakulta – Institut environmentálního inženýrství. Vedoucí práce: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc

KAPIČKA, A., N. JORDANOVA, E. PETROVSKÝ a V. PODRÁZSKÝ. Magnetic Study of Weakly Contaminated Forest Soils. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2003, **148**(1/4), 31-44. DOI: 10.1023/A:1025429928763. ISSN 00496979.

KAPIČKA, A., E. PETROVSKÝ, S. USTJAK a K. MACHÁČKOVÁ. Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic. *Journal of Geochemical Exploration*. 1999, **66**(1-2), 291-297. DOI: 10.1016/S0375-6742(99)00008-4. ISSN 03756742.

KAPIČKA, Aleš a Eduard PETROVSKÝ. Magnetismus hornin a jeho aplikace při studiu znečištění životního prostředí. *Československý časopis pro fyziku*. Praha, 2004, **54**(4), 240-243.

KLIMONT, Zbigniew, Kaarle KUPIAINEN, Chris HEYES, Pallav PUROHIT, Janusz COFALA, Peter RAFAJ, Jens BORKEN-KLEEFELD a Wolfgang SCHÖPP. Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2016, 1-72. DOI: 10.5194/acp-2016-880. ISSN 16807375.

KOHUT, O. *Imisní zátěž půd v oblasti Třince*. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. VŠB-TUO Hornicko-geologická fakulta – Institut environmentálního inženýrství. Vedoucí práce: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

KOZÁK, Josef a Jan NĚMEČEK. *Atlas půd České republiky*. 2., upr. vyd. Praha: ČZU Praha, 2009. ISBN 978-80-213-2008-6.

LU, S.G., Y.Y. CHEN, H.D. SHAN a S.Q. BAI. Mineralogy and heavy metal leachability of magnetic fractions separated from some Chinese coal fly ashes. *Journal of Hazardous Materials*. 2009, **169**(1-3), 246-255. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.03.078. ISSN 03043894.

LU, Shenggao, Xiuling YU a Yuyin CHEN. Magnetic properties, microstructure and mineralogical phases of technogenic magnetic particles (TMPs) in urban soils: Their source identification and environmental implications. *Science of The Total Environment*. 2016, **543**, 239-247. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.046. ISSN 00489697.

MAGIERA, T., M. JABŁOŃSKA, Z. STRZYSZCZ a M. RACHWAL. Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts. *Atmospheric Environment*. 2011, **45**(25), 4281-4290. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.076. ISSN 13522310.

MAGIERA, T., Z. STRZYSZCZ, A. KAPICKA a E. PETROVSKY. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*. 2006, **130**(3-4), 299-311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.02.002. ISSN 00167061.

MAHER, Barbara A. a Reginald M. TAYLOR. Formation of ultrafine-grained magnetite in soils. *Nature*. 1988, **336**(6197), 368-370. DOI: 10.1038/336368a0. ISSN 00280836.

MATYSEK, D., RACLAVSKA, H., RACLAVSKY, K. *Correlation between magnetic susceptibility and heavy metal concentrations in forest soils of the eastern Czech Republic*. Journal of Environmental and Engineering Geophysics Volume: 13, 2008, Pages: 13-26

MENČÍK, E. a kol. *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. 1. vyd. ÚÚG, Praha 1983, 307 s.

MICHALÍKOVÁ, Františka, Martin SISOL a Ivana KRINICKÁ. *Odpadové fórum*. 2010, **11**(4). ISSN 1212-7779. Dostupné z: www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/4-2010-pdf.pdf

RACLAVSKÁ H., RŮŽIČKOVÁ J., MATÝSEK D. *Vlastnosti odprašků a možnosti jejich zpracování/využití*. 2016, HS 7771642. MS VŠB-TU Ostrava. (1-158).

RACHWAŁ, Marzena, Tadeusz MAGIERA a Małgorzata WAWER. Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere*. 2015, **138**, 863-873. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.11.077. ISSN 00456535.

RAMIRÉZ, C. E. B. *Geochemie půd vázaných na výskyt těšinitů*. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. VŠB-TUO Hornicko-geologická fakulta – Institut geologického inženýrství. Vedoucí práce: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

REVUELTA, María Aránzazu, Gregg MCINTOSH, Jorge PEY, Noemi PÉREZ, Xavier QUEROL a Andrés ALASTUEY. Partitioning of magnetic particles in PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ aerosols in the urban atmosphere of Barcelona (Spain). *Environmental Pollution*. 2014, **188**, 109-117. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.01.025. ISSN 02697491.

SEMELOVÁ, V., FIALOVÁ, H., KAPIČKA, A., KACÁLEK, D., Magnetometric method as a tool of measuring pollution of forest soils by heavy metals – example of the Orlické hory Mts, *Lesnický časopis*, 2009, **55** (4), 385-393.

SHI, Meinan, Huaichun WU, Shihong ZHANG, Haiyan LI, Tianshui YANG, Wei LIU a He LIU. Weekly cycle of magnetic characteristics of the daily PM_{2.5} and PM_{2.5–10} in Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 2014, **98**, 357-367. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.08.079. ISSN 13522310.

STEFANOVA, Anna; AROMAA, Jari; FORSEN, Olof. Alkaline leaching of zinc from argon oxygen decarbonization dust from stainless steel production. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2013, **49.1**: 27--46.

STRZYSZCZ, Z. a T. MAGIERA. Magnetic susceptibility and heavy metals contamination in soils of Southern Poland. *Physics and Chemistry of the Earth*. 1998, **23**(9-10), 1127-1131. DOI: 10.1016/S0079-1946(98)00140-2. ISSN 00791946.

SZUSZKIEWICZ, Marcin, Tadeusz MAGIERA, Aleš KAPIČKA, Eduard PETROVSKÝ, Hanna GRISON a Beata GOŁUCHOWSKA. Magnetic characteristics of industrial dust from different sources of emission: A case study of Poland. *Journal of Applied Geophysics*. 2015, **116**, 84-92. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2015.02.027. ISSN 09269851.

TOLASZ, R. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

TOMÁŠEK, M. *Půdy České republiky*. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2007, 67 s., [41] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7075-688-1.

VEREVA, L., V. HOFFMANN, D. JORDANOVA, N. JORDANOVA a T. FEHR. Rock magnetic, mineralogical and microstructural characterization of fly ashes from Bulgarian power plants and the nearby anthropogenic soils. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2004, **29**(13-14), 1011-1023. DOI: 10.1016/j.pce.2004.03.011. ISSN 14747065.

ZHANG, Chunxia, Qingqing QIAO, Erwin APPEL a Baochun HUANG. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012, **119-120**, 60-75. DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.06.014. ISSN 03756742.

Internetové stránky:

Polétavý prach (PM10) | *irz.cenia.cz* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/85>

Třinecké železárny a.s. | *ACRI* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: www.acri.cz/cz/zeleznicni-prumysl/infrastruktura/trinecke_zelezarny

All for power: Objem prachu klesl na historické minimum tři set tun [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/objem-prachu-klesl-na-historicke-minimum-tri-set-tun/>

ISKO limity [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html

Imise [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/7-imise

Město Třinec [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.trinecko.cz>

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY - MORAVIA STEEL: Historie [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/historie_cz

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY - MORAVIA STEEL: Vzduch filtrují obří vysavače [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/msg63DBF5559CEF7471C1257DAC002F543C>

Mapy Google [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/>

Geologická mapa 1 : 50 000 [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/

Řízení a údržba průmyslového podniku: Třinecké železárny snížily objem prachu na historické minimum [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/trinecke-zelezarny-snizily-objem-prachu-na-historicke-minimum/

Lokální topeniště: Proč řešit kotle [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://lokalni-topeniste.msk.cz/proc-resit-kotle>

TZB-info: Kotlíková dotace 2015-2020: podmínky a podrobnosti [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: vytapani.tzb-info.cz/kotlikove-dotace/12985-kotlikova-dotace-2015-2020-podminky-a-podrobnosti

Třetí Ruka: Staré neekologické kotle musí lidé vyměnit nejpozději do roku 2022. Jak upravuje pravidla provozování kotlů zákon o ovzduší? [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: www.tretiruka.cz/news/stare-neekologicke-kotle-musi-lide-vymenit-nejpozdeji-do-roku-2022-jak-upravuje-pravidla-provozovani-kotlu-zakon-o-ovzdusi-/

iDNES.cz: Dotace na kotle si lidé v Moravskoslezském kraji rozebrali za tři minuty [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: ostrava.idnes.cz/kotlikove-dotace-druha-vlna-velky-zajem-moravskoslezsky-kraj-p6y-/ostrava-zpravy.aspx?c=A170303_2309870_ostrava-zpravy_woj

Moravské-Karpaty.cz: Slezská jednotka [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: moravske-karpaty.php5.cz/priroda_soubory/geologie/slezska_jednotka.htm

Moravské-Karpaty.cz: Podslezská jednotka [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: moravske-karpaty.php5.cz/priroda_soubory/geologie/podslezska_jednotka.htm

Ochrana přírody: Regionální pracoviště Správa CHKO Beskydy- klimatické poměry [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: beskydy.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/klimaticke-pomery/

RISY.cz - Přírodní podmínky - Beskydy CZ [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: www.risy.cz/cs/turisticke-ris/beskydy-cz/ochrana-prirody/prirodni-podminky/#Klima

CHKO Beskydy [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: www.webserver.cz/cewis/chko/beskydy.html

Měření čistoty ovzduší a meteorologie pro Městský úřad města Třinec [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: mail.envitech.sk/phptrinec/

Magnetit. www.mineraly.net [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.mineraly.net/images/oxidy/magnetit.htm>

Mineralogické a genetické typy železných rud. Starahut.com [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.starahut.com/node/7#sthash.NVNkFnwZ.dpbs>

Geology.com: Magnetite & Lodestone [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: geology.com/minerals/magnetite.shtml

Mapy.cz: Zeměpisná mapa [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zemepisna>

Pracoviště elektronové mikrosondy [online]. In: . s. 1 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://ict.hgf.vsb.cz/export/sites/ict/cs/sluzby/elektronova_mikrosonda_cz.pdf

Chromedia: X-ray fluorescence spectrometry [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: www.chromedia.org/chromedia?waxtrapp=mkqjtbEsHonOvmOIIEcCArB&subNav=elchacEsHonOvmOIIEcCArBC

X-Ray Fluorescence (XRF) [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRF.html

Regrese a korelace [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: iastat.vse.cz/regrese/Korelace1.htm

SEZNAM ZKRATEK

AMS – Automatická meteorologická stanice

ČGS – Česká geologická služba

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČSN – Česká státní norma

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

ISKO – Integrovaný systém kontroly ovzduší

TK – těžké kovy

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

OZKO – Oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší

PAU – polycyklické aromatické uhlovodíky

PM_{2,5} – prachové částice o velikosti 2,5 mikrometrů

PM₁₀ – prachové částice o velikosti 10 mikrometrů

TMP – technogenní magnetické částice

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: SEM typická magnetická částice antropogenního původu vyseparovaná z vrchní půdní vrstvy (průměr částice 20 μm) (Kapička et al., 2004).....	4
Obrázek 2: Mapa oblasti Třinecka (www.google.cz/maps)	9
Obrázek 3: Geologická mapa zkoumaných oblastí (http://mapy.geology.cz)	11
Obrázek 4: Legenda ke zkoumané oblasti na geologické mapě (http://mapy.geology.cz) .	11
Obrázek 5: Půdní mapa vybrané oblasti (KOZÁK, 2009)	13
Obrázek 6: Část mapy klimatologických podmínek (TOLASZ, 2007)	15
Obrázek 7: Větrná růžice početnosti v AMS Třinec – Kanada (http://mail.envitech.sk) ...	17
Obrázek 8: Větrná růžice početnosti v AMS Třinec – Kosmos (http://mail.envitech.sk)...	17
Obrázek 9: Závislost mezi Zr a Pb (KOHUT, 2016)	20
Obrázek 10: Korelační závislost mezi Zr a Fe (KOHUT, 2016)	21
Obrázek 11: Ostrohranné částice magnetitu z horniny, ostatní světlé částice také reprezentují magnetit (KOHUT, 2016)	21
Obrázek 12: Oblast odběru vzorků – podvrchol Malý Javorový (www.mapy.cz)	23
Obrázek 13: Oblast odběru vzorků – vrchol Ostrý (www.mapy.cz).....	23
Obrázek 14: Homogenizace vzorku	24
Obrázek 15: Graf porovnání koncentrací Fe ve vzorcích z oblasti Javorového	28
Obrázek 16: Graf porovnání koncentrací Fe ve vzorcích z oblasti Ostrého	28
Obrázek 17: částice (SEM + EDAX) z odprašku A (RACLAVSKÁ et al., 2016).....	33
Obrázek 18: Dokumentace analyzovaných částic a charakteru vzorku E (SEM) (RACLAVSKÁ et al., 2016).....	34
Obrázek 19: Částice magnetitu z odprašku pocházejícího z ocelárny (RACLAVSKÁ et al., 2016).....	35
Obrázek 20: Dokumentace a označení analyzovaných částic pro tabulku 10 (RACLAVSKÁ et al., 2016).....	36
Obrázek 21: Charakteristika částic – odprašek S (RACLAVSKÁ et al., 2016).....	37
Obrázek 22: Částice grafitu, ve které jsou inkorporovány další oxidy (Ca, Fe) (RACLAVSKÁ et al., 2016).....	38
Obrázek 23: Fe-oxidické částice – odprašek S (RACLAVSKÁ et al., 2016)	39
Obrázek 24: Fe-oxidické částice – odprašek S (RACLAVSKÁ et al., 2016)	39
Obrázek 25: Separace magnetické frakce z půd	40
Obrázek 26: Separace magnetické frakce z popela – vyseparovaná magnetická frakce vpravo	42
Obrázek 27: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700.....	43
Obrázek 28: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, druhá analyzovaná plocha v nábrusu	44
2017	69

Obrázek 29: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, třetí analyzovaná plocha v nábrusu.....	45
Obrázek 30: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, čtvrtá analyzovaná plocha v nábrusu	46
Obrázek 31: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, pátá analyzovaná plocha v nábrusu.....	46
Obrázek 32: Dokumentace analyzovaných zrn ve vzorku L-J 700, šestá analyzovaná plocha v nábrusu	47
Obrázek 33: Grafy lineárních závislostí mezi Zr a těžkými minerály (Ti, Si, Al, K), organickým podílem v půdách.....	49
Obrázek 34: Korelační analýza měřených prvků a magnetické susceptibility v půdách (průkazné závislosti jsou barevně vyznačeny).....	50
Obrázek 35: Charakter magnetické částice ze spalování fosilních paliv včetně spektra (SEM-EDAX), autor Dr. Ing. Dalibor Matýsek	53
Obrázek 36: Grafy závislostí mezi hmotnostní magnetickou susceptibilitou a Cu, Fe, As, Pb, Zn, Zr, Si a obsahem organických látek v půdách	54
Obrázek 37: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Pb (Javorový).....	56
Obrázek 38: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Zn (Javorový)	56
Obrázek 39: Koncentrace Pb v půdách odebraných v závislosti na nadmořské výšce (Javorový).....	57
Obrázek 40: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Pb (Ostrý)	57
Obrázek 41: Závislost mezi obsahem organických látek v půdě a Zn (Ostrý)	58
Obrázek 42: Koncentrace Pb v půdách odebraných v závislosti na nadmořské výšce (Ostrý).....	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Magnetická susceptibilita Fe minerálů (Fečko et al., 2003)	6
Tabulka 2: Charakteristika klimatických oblastí MW1, C5, C6 a C7 (TOLASZ, 2007)....	16
Tabulka 3: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy zkoumaných prvků z oblasti Javorového (mg/kg)	26
Tabulka 4: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy zkoumaných prvků z oblasti Ostrého (mg/kg)	27
Tabulka 5: Chemická analýza sněhových srážek.....	29
Tabulka 6: Mineralogická analýza odprašků z Třineckých železáren	31
Tabulka 7: Chemická analýza odprašků – distribuce stopových prvků z jednotlivých provozů.....	32
Tabulka 8: Chemická analýza částic (SEM + EDAX) z odprašku A v hm.%.....	33
Tabulka 9: Výsledky analýzy částic provedené na SEM+EDX (hm.%).	34
Tabulka 10: Analýza chemického složení částic (SEM-EDX) v hm.%.....	36
Tabulka 11: Chemická analýza částic dokumentovaných na obr. 21 v hm.%.....	37
Tabulka 12: Hmotnostní a magnetický podíl magnetické části půdních vzorků z oblasti Javorového a Ostrého	41
Tabulka 13: Hmotnostní a magnetický podíl magnetické části vzorků popela z oblasti Javorového a Ostrého	42
Tabulka 14: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%).	44
Tabulka 15: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 2 plocha.....	44
Tabulka 16: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 3 plocha.....	45
Tabulka 17: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 4 plocha.....	46
Tabulka 18: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 5 plocha.....	47
Tabulka 19: Výsledky chemického složení částic v nábrusech – vzorek L-J 700 (SEM+EDX) (hm.%) – 6 plocha.....	48
Tabulka 20: Hmotnostní a magnetická susceptibilita půdních vzorků.....	52
Tabulka 21: Hodnoty magnetické susceptibility ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) pro Beskydy, část povodí Olše a oblast Javorového a Ostrého	53
Tabulka 22: Porovnání obsahu Fe v původním vzorku a magnetické frakci (mg/kg)	55